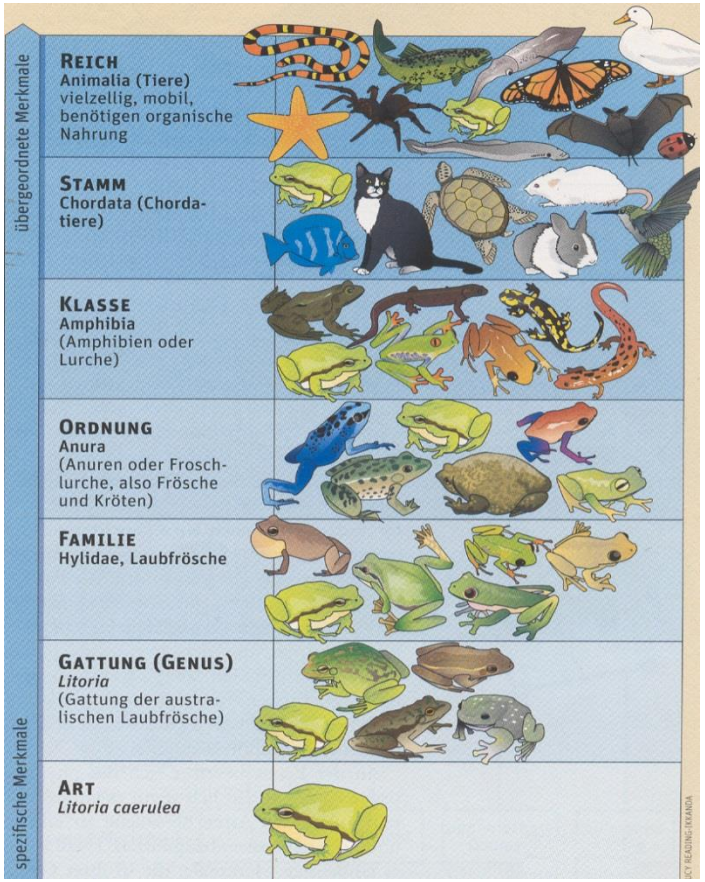
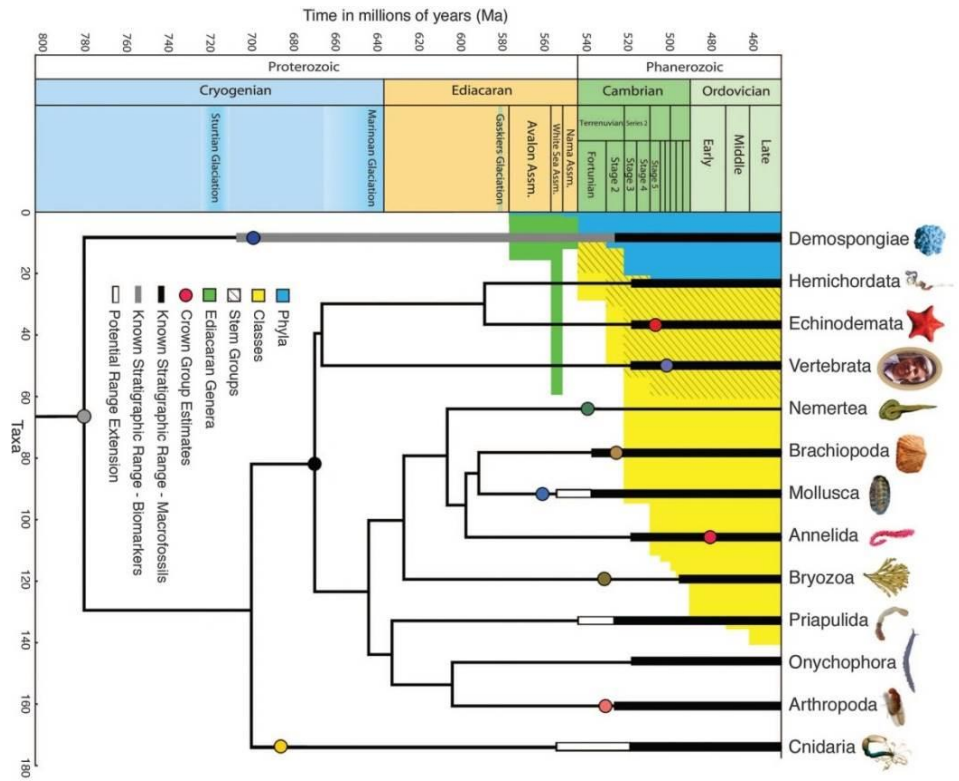
Systematische Zoologie
– oder Zoologische Systematik



- **eine Einführung ins Reich der Tiere**



Matthias Glaubrecht

CeNak
Centrum für Naturkunde

- **Die Vorlesung – *Was werden Sie hören ?***

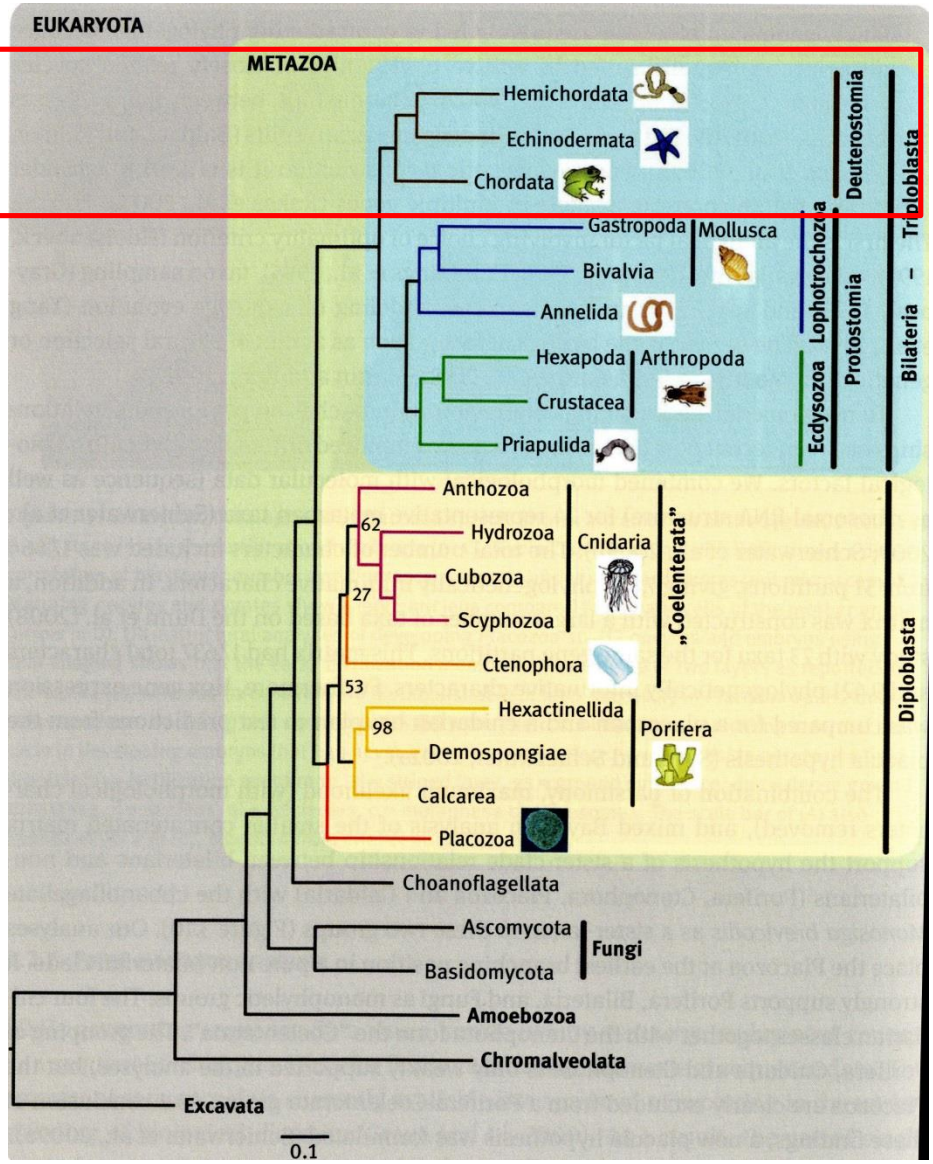
Biodiversität der Tiere 9:45-11:15 Großer Hörsaal
61-011 Systematische Zoologie

Termin	KW	Datum	Thema	
1	14	2. Apr.	Einführung Zool. Systematik, Protista	
2	15	9. Apr.	Einführung, Metazoa	
3	16	16. Apr.	Metazoa, Bilateria	Protostomia
4	17	23. Apr.	Platyzoa - Mollusca	
5	18	30. Apr.	Annelida - Nematoda	
6	19	7. Mai.	Ecdysozoa: Chelicerata	
7	20	14. Mai.	Crustacea	
		Christi Himmelfahrt 21. Mai		
8	22	28. Mai.	Myriapoda - Insecta	
		Pfingstunterbrechung 4. Juni		
9	24	11. Jun.	Deuterostomia, Echinodermata	Deuterostomia
10	25	18. Jun.	Acrania, Pisces - Amphibia	
11	26	26. Jul.	Reptilia - Aves	
12	27	02. Jul 20	Mammalia	
	30	24. Jul 20	Haupttermin (Freitag)	
	40	02. Okt 20	Wiederholungstermin (Freitag)	

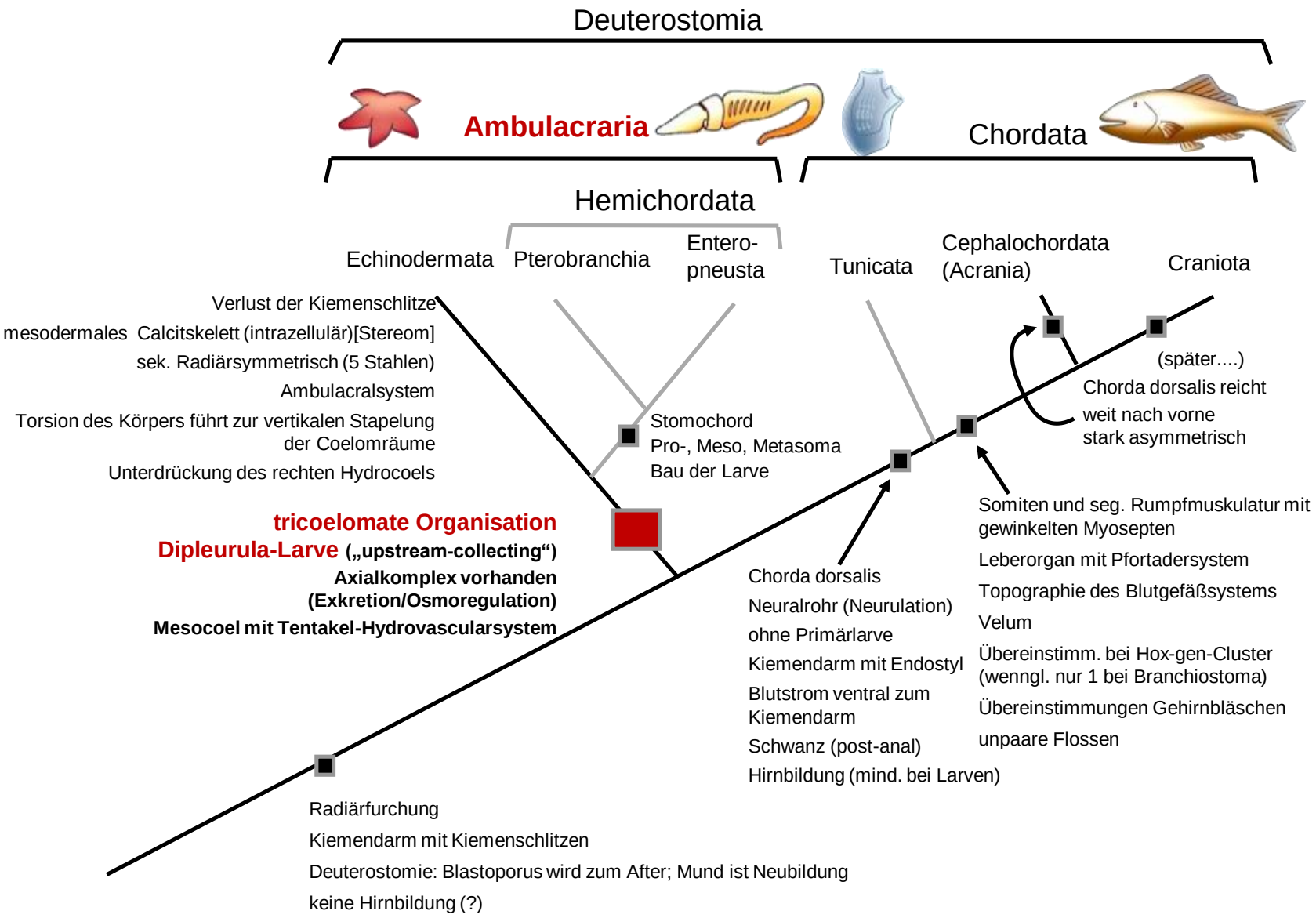
Stammbaum der Metazoa – die „Neumünder"

- **Deuterostomia**
  - **Echinodermata**
  - **Hemichordata**
  - **Chordata**

- **Blastoporus wird After**
- **Mund wird neu gebildet**



System der Deuterostomia („Neumünder")



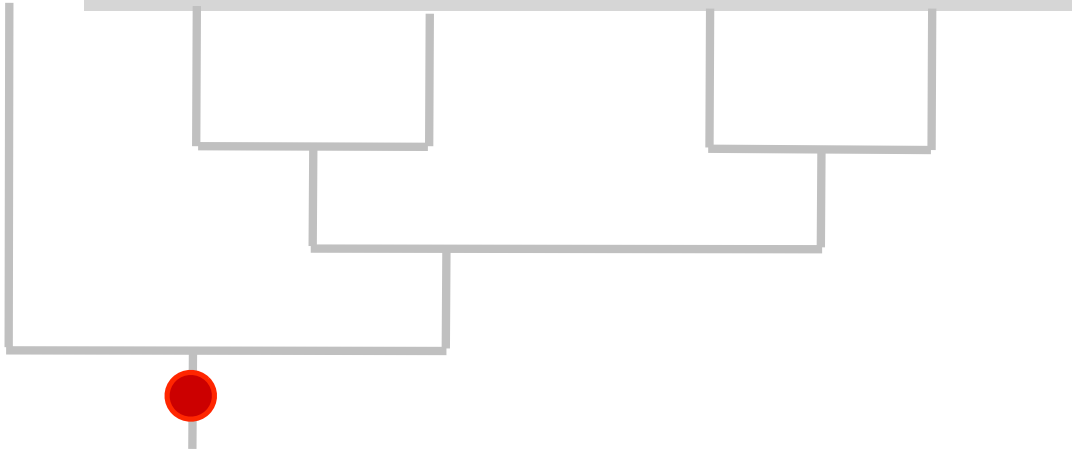
Echinodermata

Eleutherozoa

Seelilien (Crinoidea) | Seesterne (Asteroidea) | Schlangensterne (Ophiuroidea) | Seeigel (Echinoidea) | Seegurken (Holothuroidea)

- **Alternative phylogenetische Hypothese**

Seelilien (Crinoidea) | Seesterne (Asteroidea) | Schlangensterne (Ophiuroidea) | Seeigel (Echinoidea) | Seegurken (Holothuroidea)



Autapomorphien:

- **Pentamerie (Adultus)**
- **mesodermales Calcitskelett**
- **Wassergefäß-System (Hydrocoel)**

- **Regeneration**
- **mutabiles Bindegewebe**

Echinodermata

- **Asteroida (Seesterne)**
  - Oral- und Aboralseite
  - Ernährung meist durch ausstülpbaren Magen
  - Magendivertikel und Gonaden in den Armen
  - Lichtsinnesorgane an den Armspitzen

Echinodermata

- **Asteroida (Seesterne)**

Echinodermata

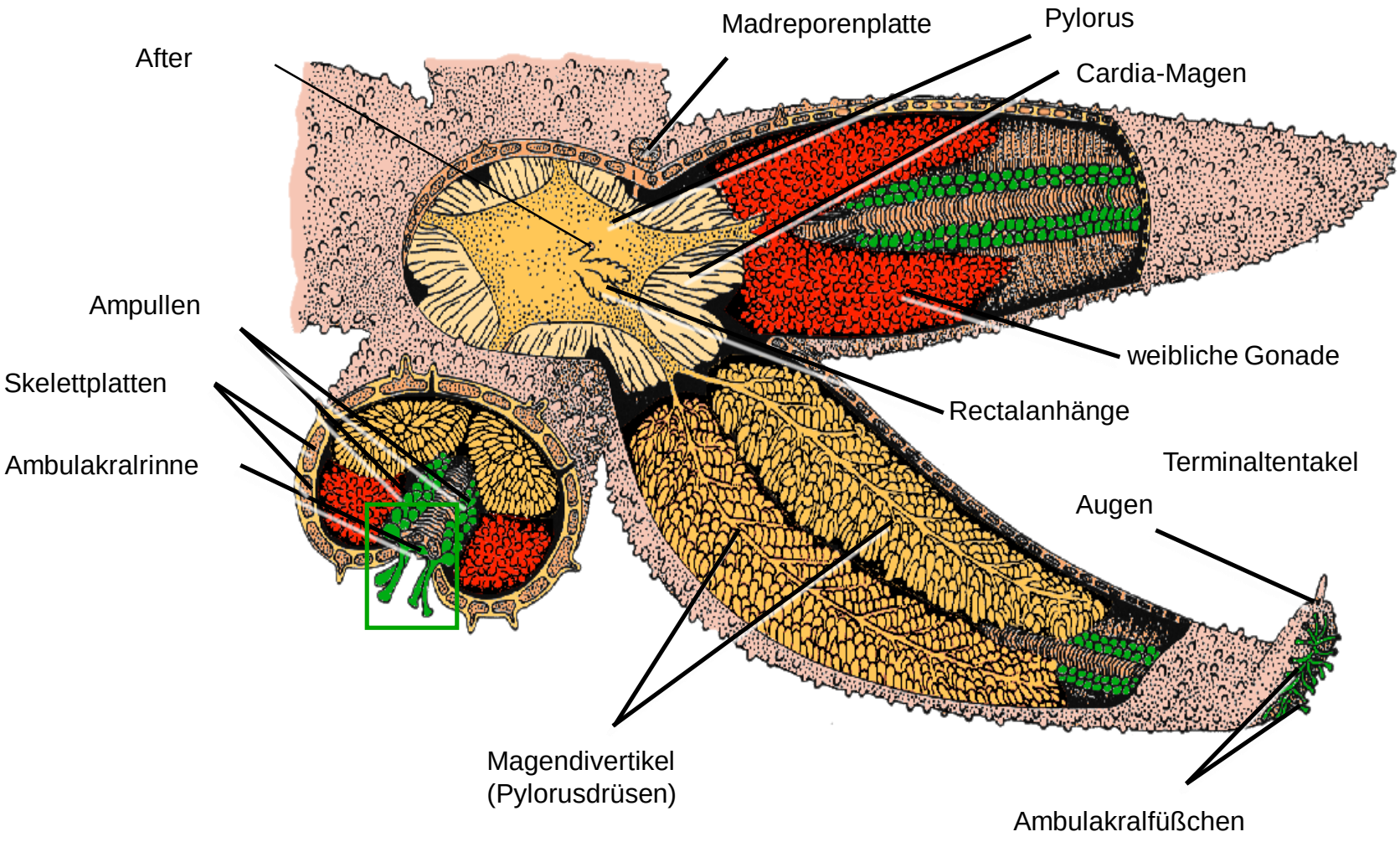
- **Asteroida (Seesterne)**

Autotomie („Selbst-Verstümmelung“ bei einigen Arten) und Regeneration

http://www.madreporite.com/science/regeneration.htm

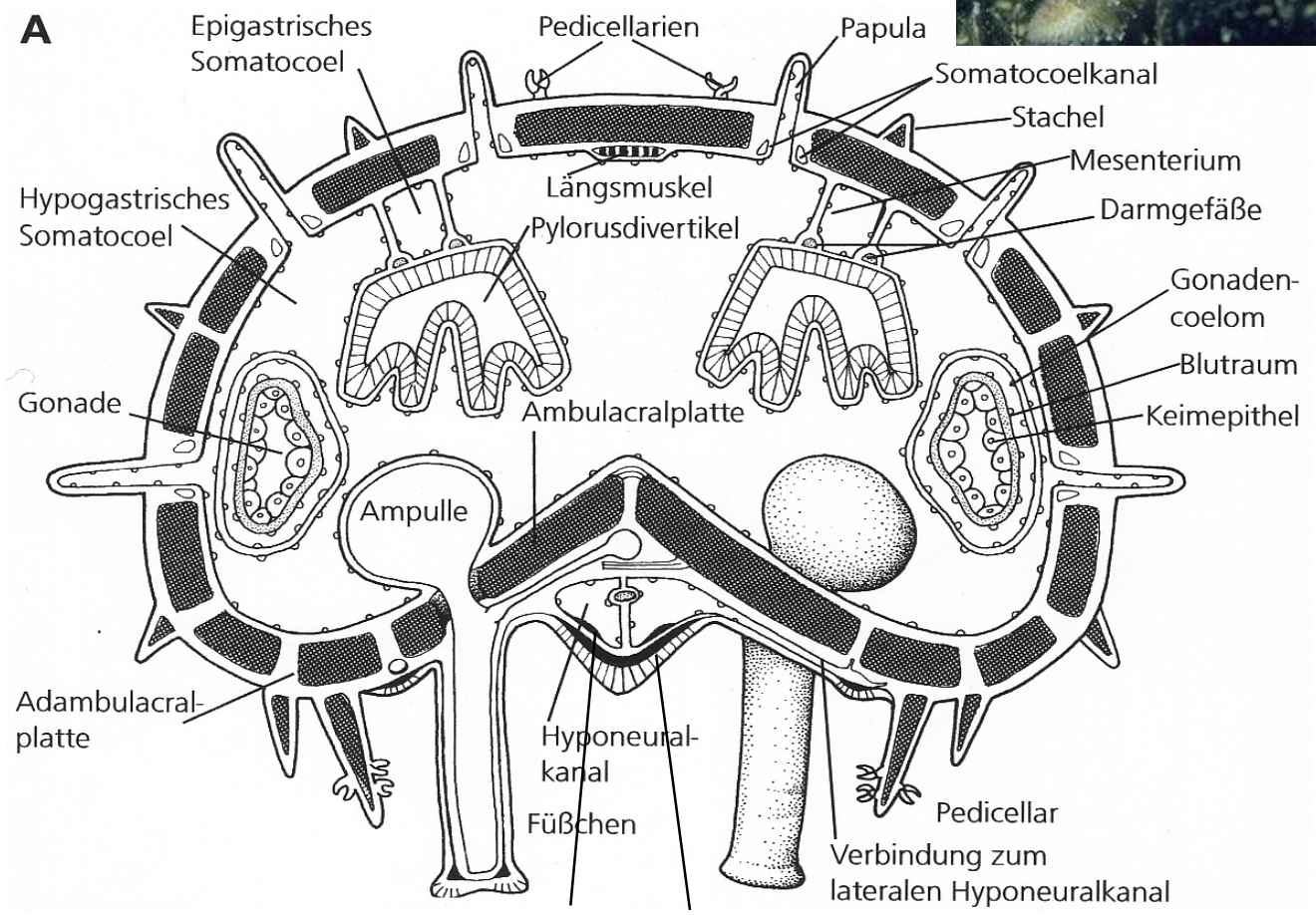
Echinodermata

- **Asteroida (Seesterne)**



Echinodermata

- **Seestern, Querschnitt**

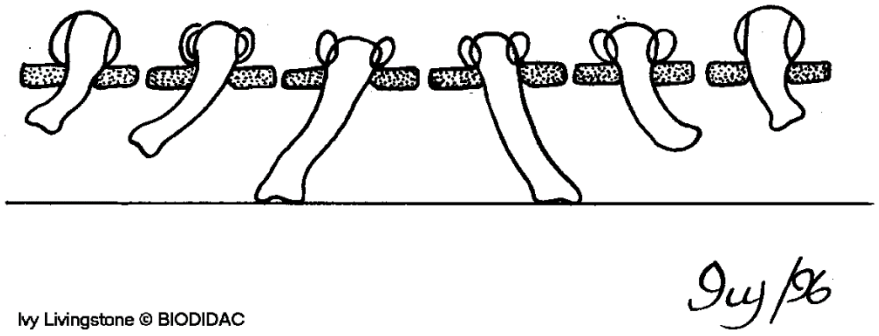


hyoneurales System ektoneurales System

Echinodermata

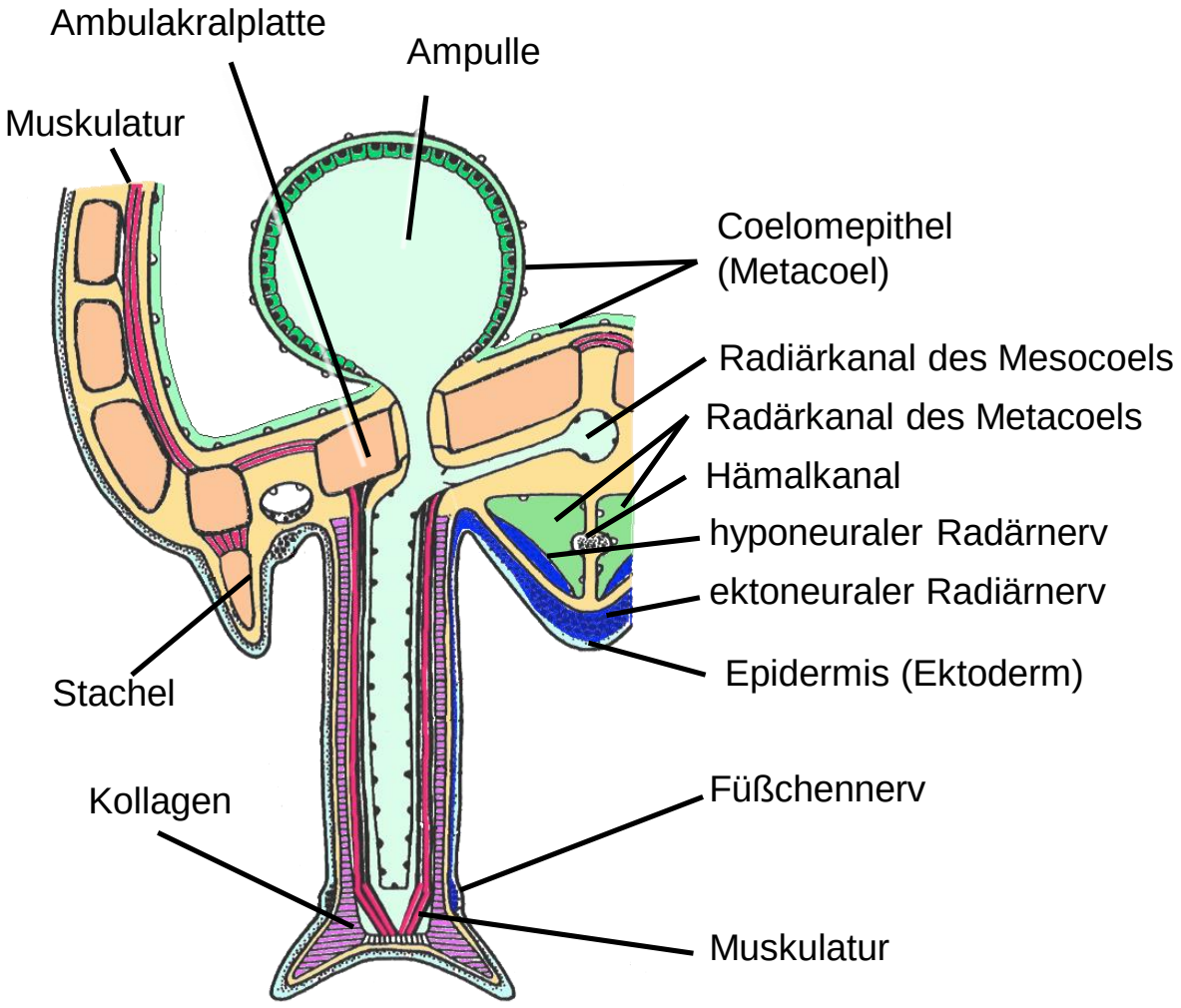
- **Asteroida (Seesterne)**

Ambulacral-Füßchen



Echinodermata

- **Asteroida (Seesterne)** **Ambulacral-Füßchen**

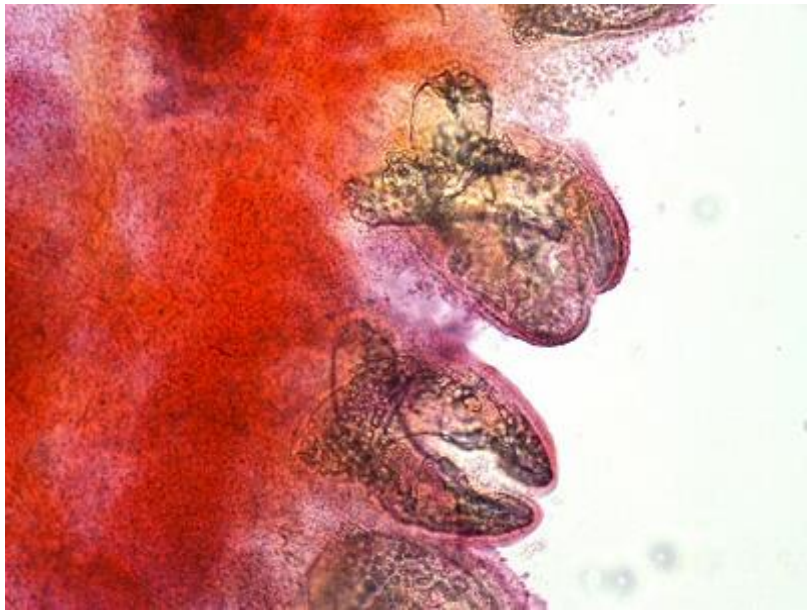


Echinodermata

www.marlin.ac.uk; © Keith Hiscock

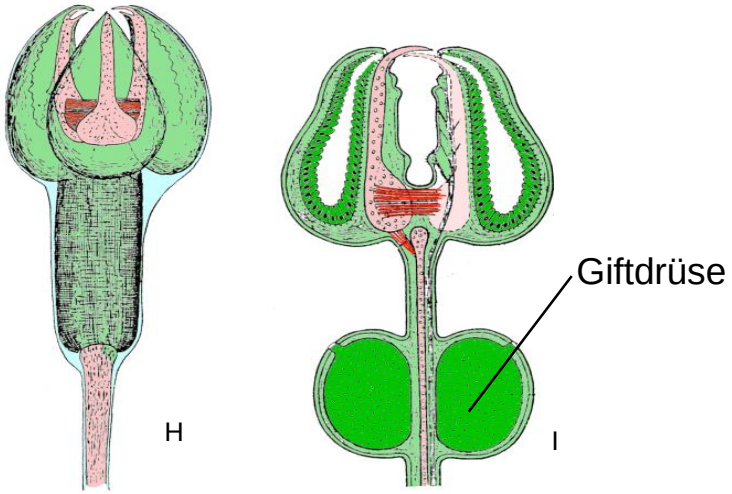
- **Pedicellarien**

Eine Besonderheit der Seesterne und Seeigel sind die Pedicellarien, vermutlich von Stacheln abgeleitete Greiforgane.
Sie dienen der Entfernung von Fremdkörpern und teilweise auch dem Nahrungserwerb.

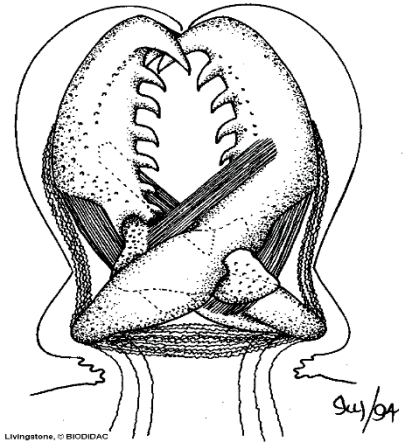


Echinodermata

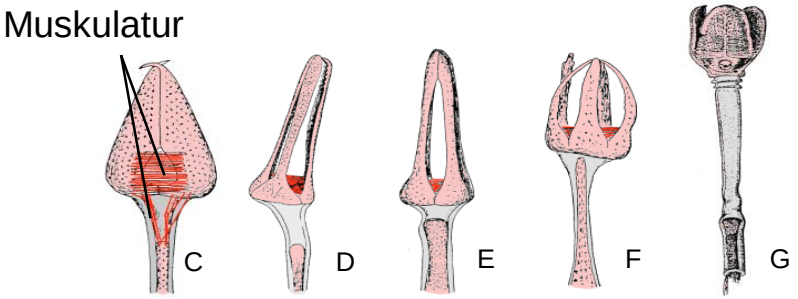
- **Pedicellarien**



Pedizellarien mit Giftdrüsen:
H total, I im Schnitt



Quelle: BIODIDAC



C - G Pedizellarien mit 2, 3, 4 und 5 Klappen

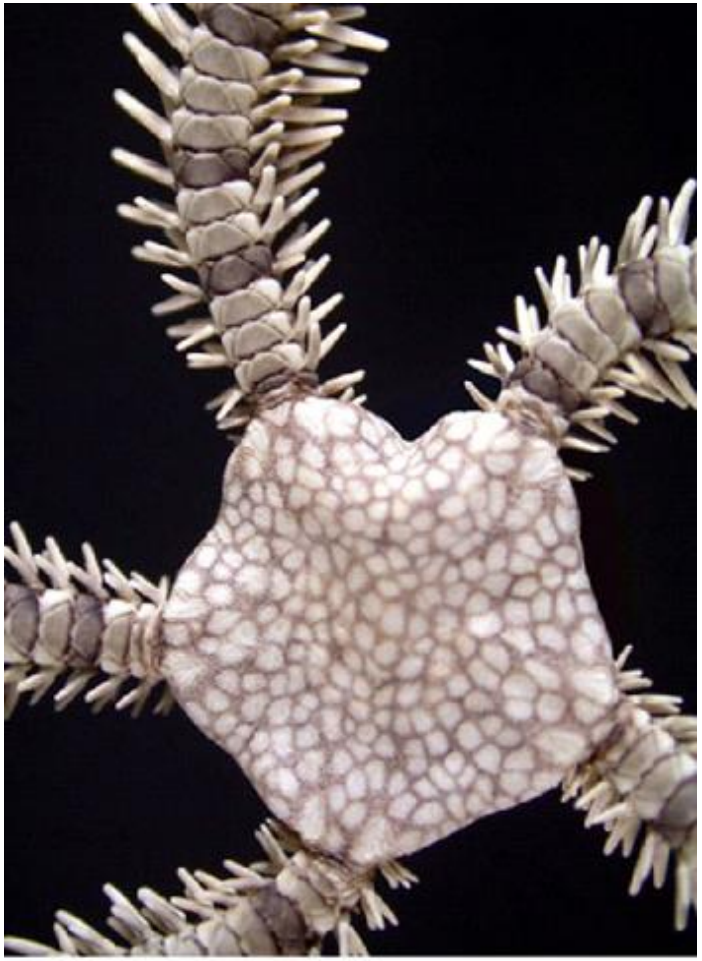
Echinodermata

Eleutherozoa

Seelilien (Crinoidea) | Seesterne (Asteroidea) | **Schlangensterne (Ophiuroidea)** | Seeigel (Echinoidea) | Seegurken (Holothuroidea)

Echinodermata

- **Ophiuroida (Schlangensterne):**
  - Zentralscheibe mit Armen
  - Arme mit „Wirbeln“
  - Bewegung schlängelnd oder „springend“

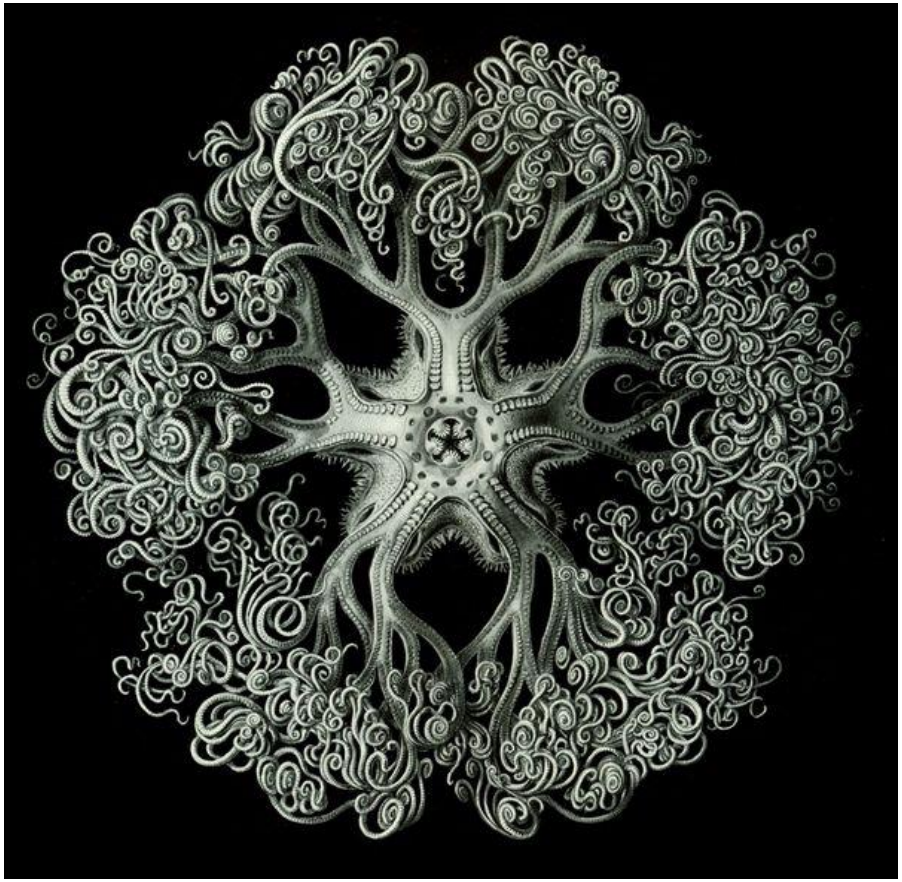


Ophionereis reticulata (Foto: M. Borges)

Echinodermata

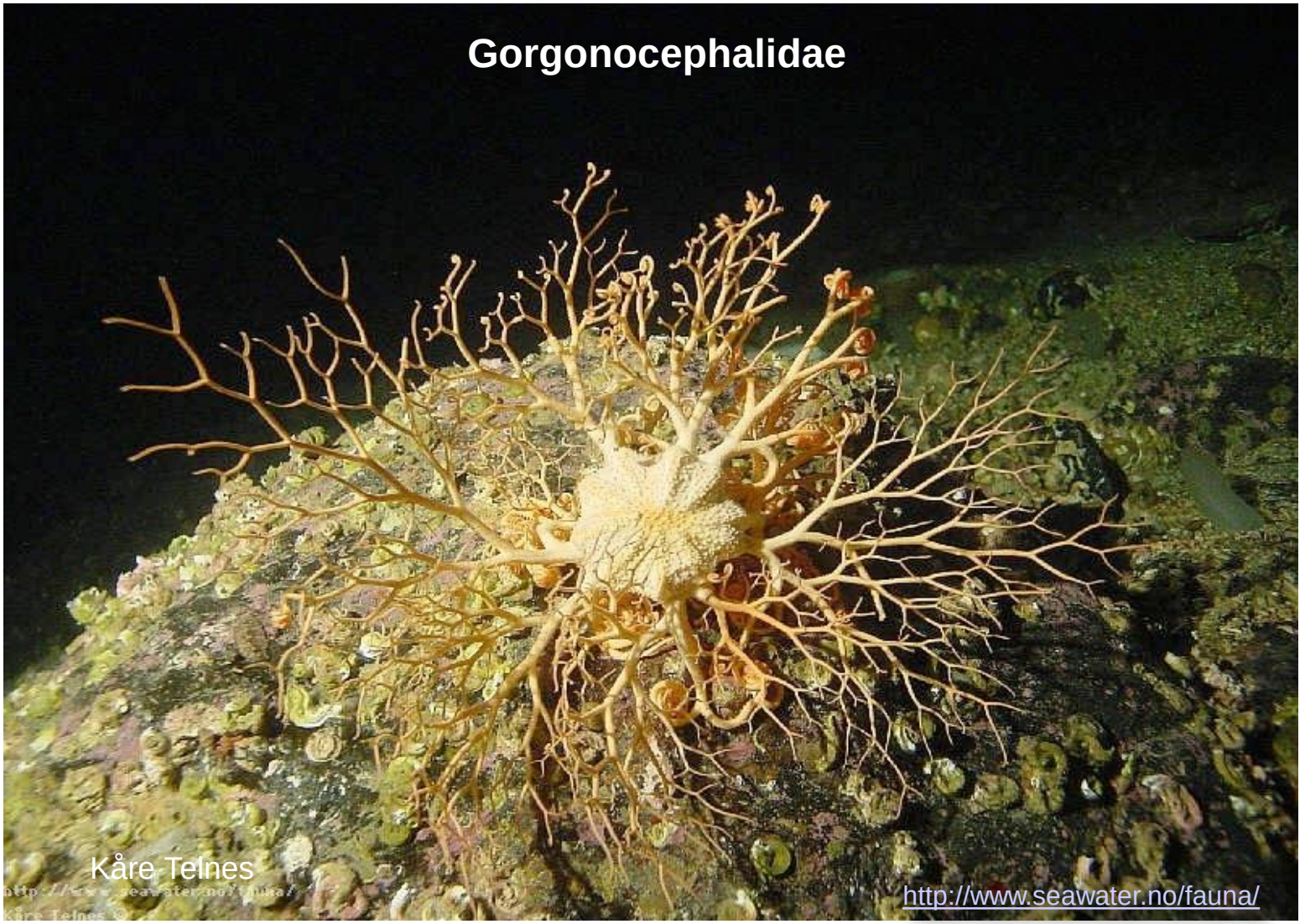
- **Ophiuroida (Schlangensterne):**

  Gorgonenhäupter (Gorgonocephalidae)



Echinodermata

- **Ophiuroidea (Schlangensterne)**

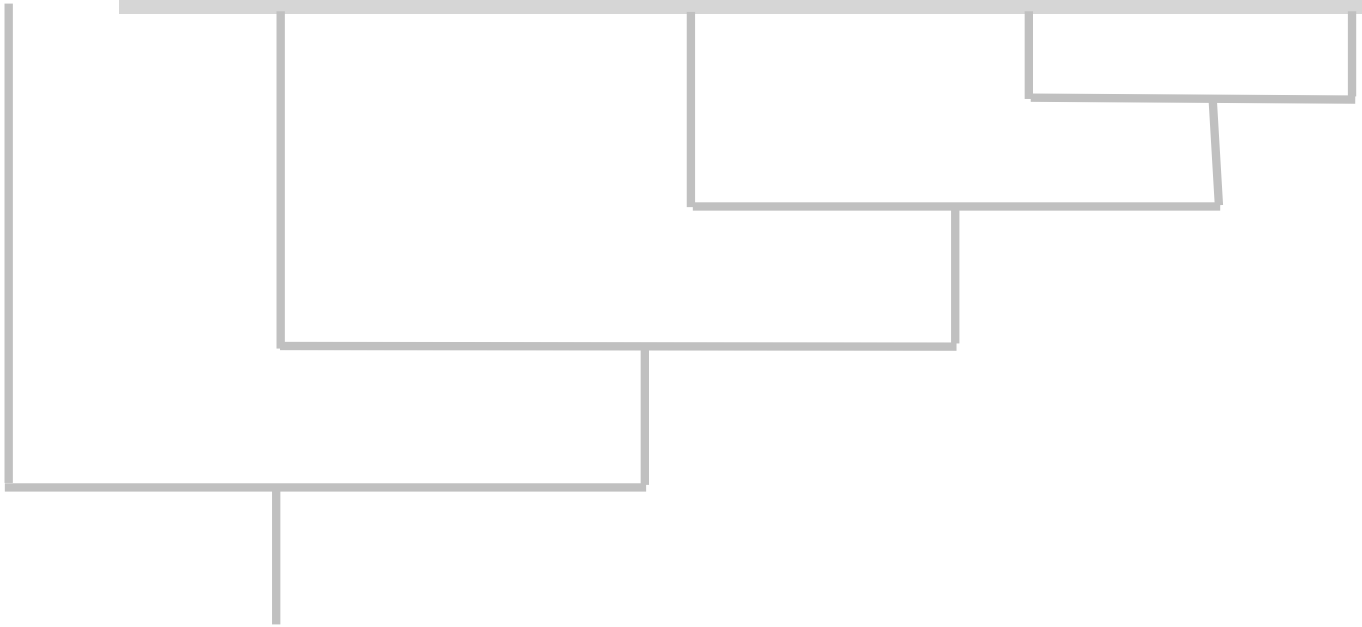


- **Ophiuroidea (Schlangensterne)**

Echinodermata

Eleutherozoa

Seelilien (Crinoidea) | Seesterne (Asteroidea) | Schlangensterne (Ophiuroidea) | **Seeigel (Echinoidea)** | Seegurken (Holothuroidea)



Echinodermata

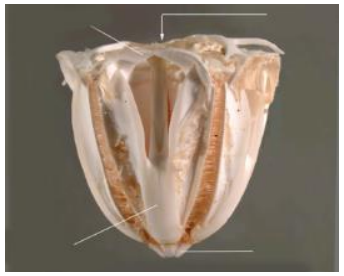
- **Echinoida (Seeigel):**

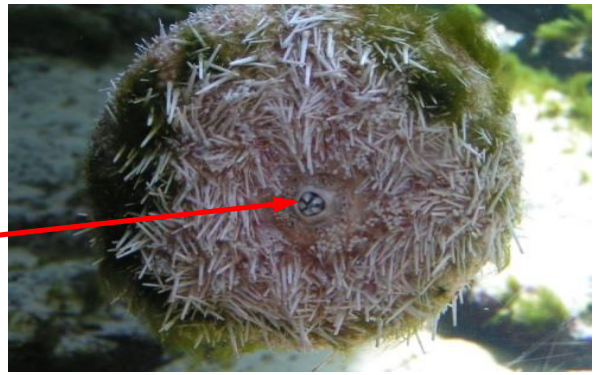
  2 Teilgruppen: reguläre und irregluläre Seeigel

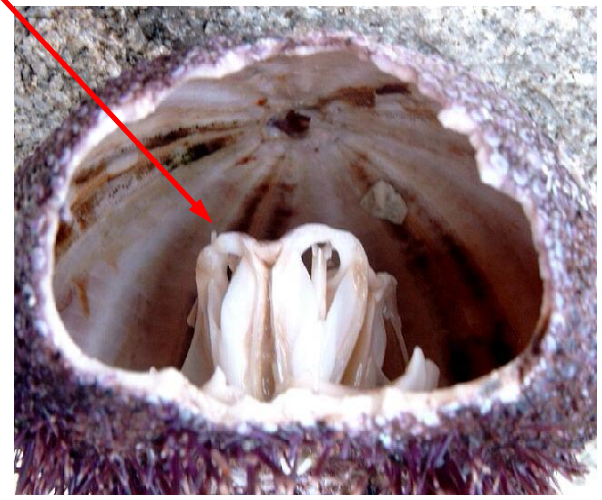
  Reguläre Seeigel:

  - meist rundlich
  - auf Hartsubstrat, weiden Algen ab

  - mit Kieferapparat („**Laterne des Aristoteles**“)







Platon & Aristoteles - und der Beginn des Denkens

- **Platon – 428/27-348/47 v.Chr.**
- **Aristoteles – 384 v.Chr. in Stageira - 322 v.Chr**

***„Die Schule von Athen“* – Fresko Rafaels, Vatikan**

Aristoteles – von Athen nach Assos & Lesbos

- **348 (347 ?) v. Chr. nach Assos, 345 nach Lesbos**

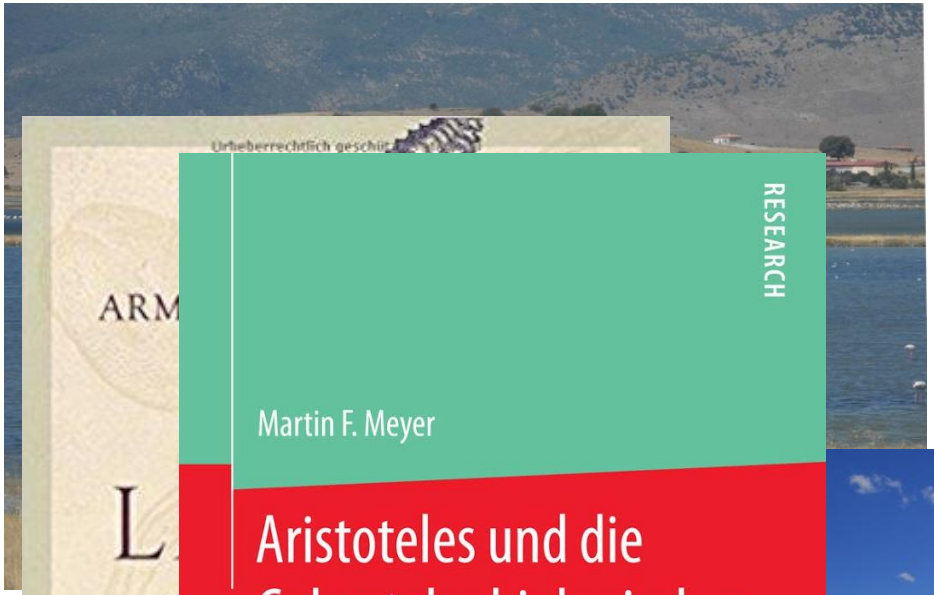
Die Lagune – Kolpos Kalloni

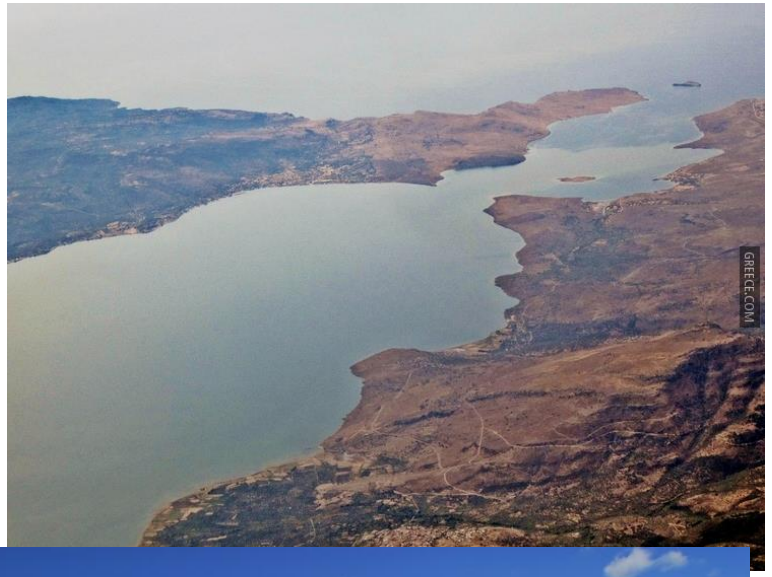
- **Seeigel, Seesterne, Seegurken, Seescheiden , Schnecken & Schwimmkrabben, …**

  Brassen & Barsche, Anemonen & Austern, Tunikaten & Tintenfische …

Kolpos Kalloni – „Aristoteles' Galapagos"

- **nährstoff- & artenreiches Binnenmeer**





Der Philosoph und die Kalamari

- **Aristoteles als Zoologe und Begründer der Biologie**

- ***„De partipus animalium“*** **– Von den Teilen der Tiere**

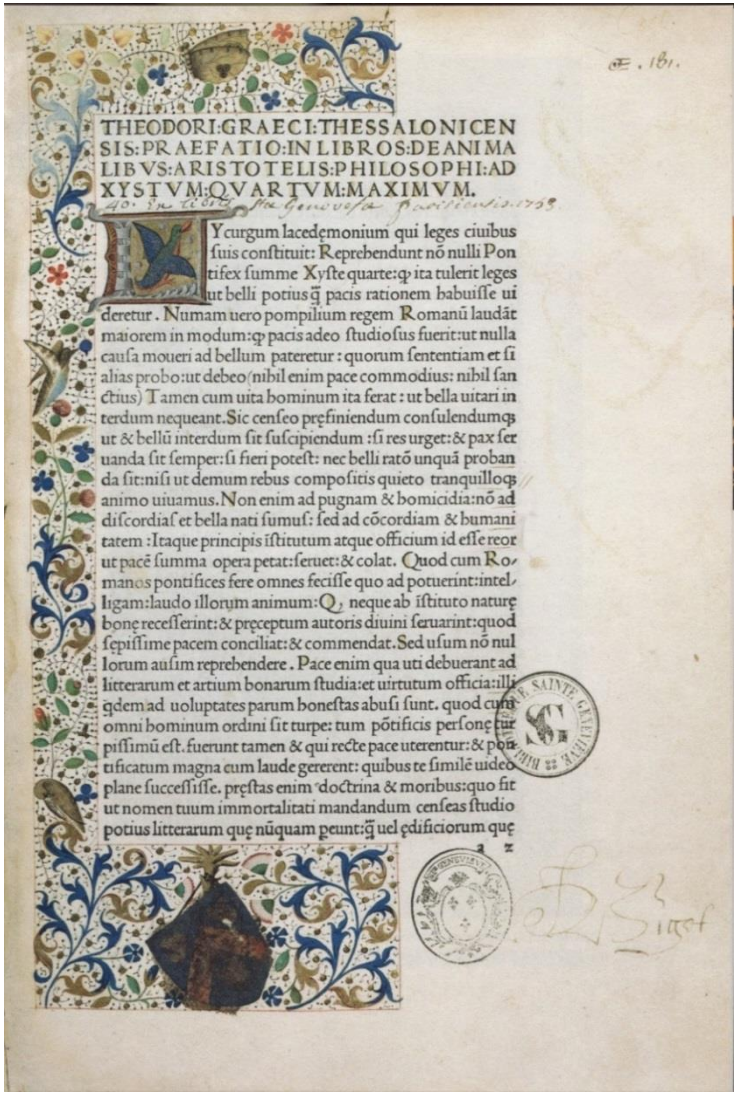
- ***„Historia animalium“*** **– Naturgeschichte der Tiere**

doppelt so umfangreich wie “*Politik*“, viermal so seitenstark wie „*Metaphysik*“

Tierbestand überschaubar: 580 Arten der Ägais

Der Philosoph und die Kalamari

- **Aristoteles als Zoologe**



THEODORI:GRAECI:THESSALONICEN
SIS:PRAEFATIO:IN LIBROS:DE ANIMA
LIBVS:ARISTOTELIS:PHILOSOPHI:AD
XYSTVM:QVARTVM:MAXIMVM.

Ycurgum lacedęmonium qui leges ciuibus
ſuis conſtituit: Reprehendunt nō nulli Pon
tifex ſumme Xyſte quarte: q̄ ita tulerit leges
ut belli potius q̄ pacis rationem habuiſſe ui
deretur. Numam uero pompilium regem Romanū laudāt
maiorem in modum: q̄ pacis adeo ſtudioſus fuerit: ut nulla
cauſa moueri ad bellum pateretur: quorum ſententiam et ſi
alias probo: ut debeo (nihil enim pace commodius: nihil ſan
ctius) Tamen cum uita hominum ita ferat: ut bella uitari in
terdum nequeant. Sic cenſeo preſiniendum conſulendumq;
ut & bellū interdum ſit ſuſcipiendum: ſi res urget: & pax ſer
uanda ſit ſemper: ſi fieri poteſt: nec belli ratō unquā proban
da ſit: niſi ut demum rebus compoſitis quieto tranquilloq;
animo uiuamus. Non enim ad pugnam & homicidia: nō ad
diſcordias et bella nati ſumus: ſed ad cōcordiam & humani
tatem: Itaque principis iſtitutum atque officium id eſſe reor
ut pacē ſumma opera petat: ſeruet: & colat. Quod cum Ro
manos pontifices fere omnes feciſſe quo ad potuerint: intel
ligam: laudo illorum animum: Q, neque ab iſtituto naturę
bonę receſſerint: & preceptum autoris diuini ſeruarint: quod
ſepiſſime pacem conciliat: & commendat. Sed uſum nō nul
lorum auſim reprehendere. Pace enim qua uti debuerant ad
litterarum et artium bonarum ſtudia: et uirtutum officia: illi
q̄dem ad uoluptates parum honeſtas abuſi ſunt. quod cum
omni hominum ordini ſit turpe: tum pōtificis perſonę tur
piſſimū eſt. fuerunt tamen & qui recte pace uterentur: & pon
tificatum magna cum laude gererent: quibus te ſimilē uideo
plane ſucceſſiſſe. preſtas enim doctrina & moribus: quo fit
ut nomen tuum immortalitati mandandum cenſeas ſtudio
potius litterarum quę nūquam peunt: q̄ uel ędificiorum quę

- ***„Anatomischer Atlas“ – verloren***
- ***Zoologische Studien & Schriften***

  Bauplan von Meereswürmern & Kopffüßern

  Lebensweise von Wirbellosen

  Funktion von Schneckenmägen

  Struktur des menschlichen Herzen

  Blutkreislauf

  Tanzsprache von Bienen

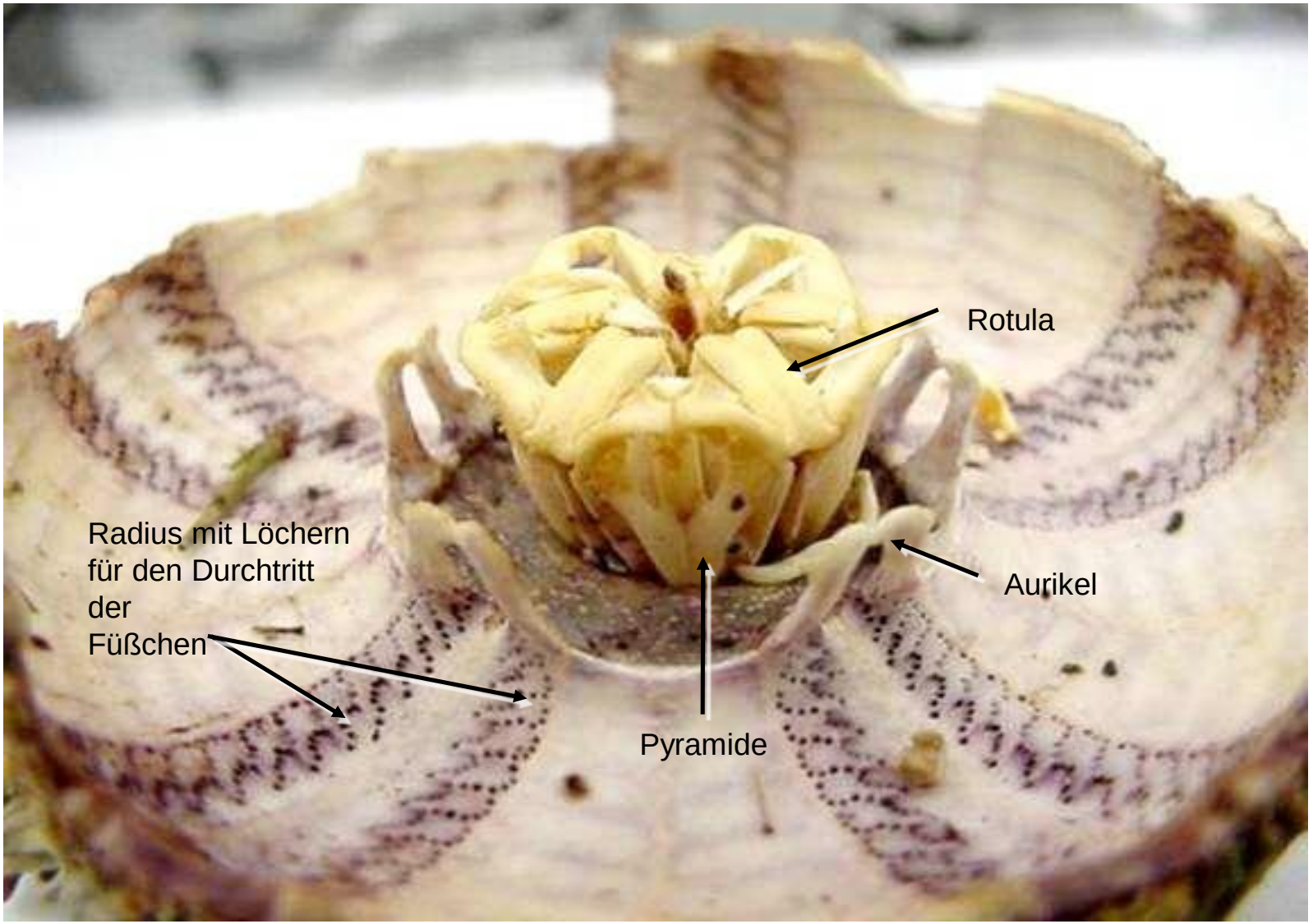
  Balztänze der Reiher

  elterliche Fürsorge von Delphinen

„De partipus animalium“ – eines der frühesten gedruckten Werke

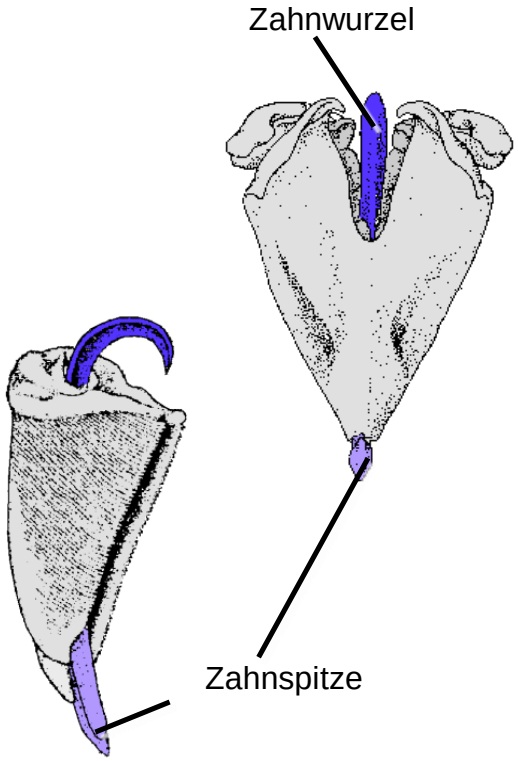
Echinodermata

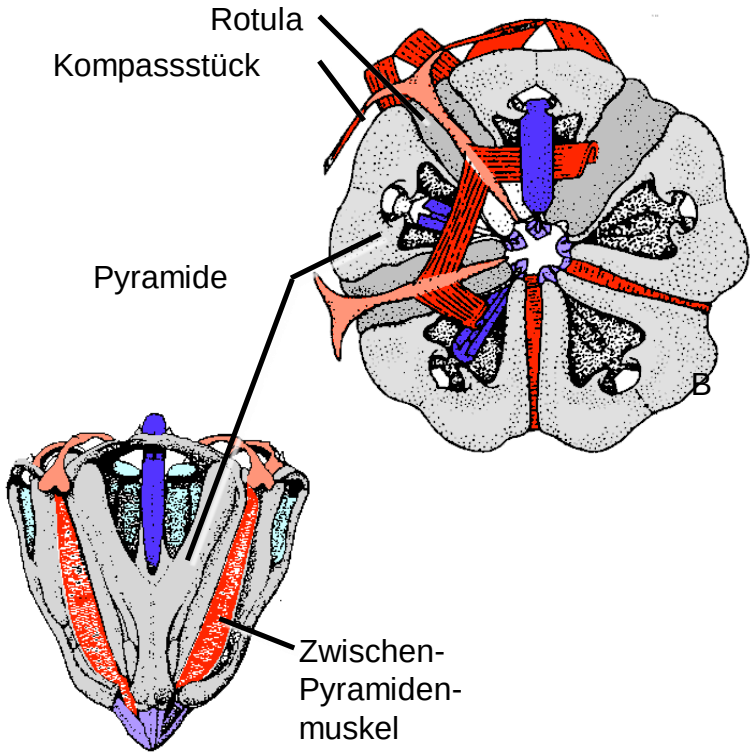
- **Kieferapparat – „Laterne des Aristoteles“**



Echinodermata

- **Kieferapparat – „Laterne des Aristoteles“**

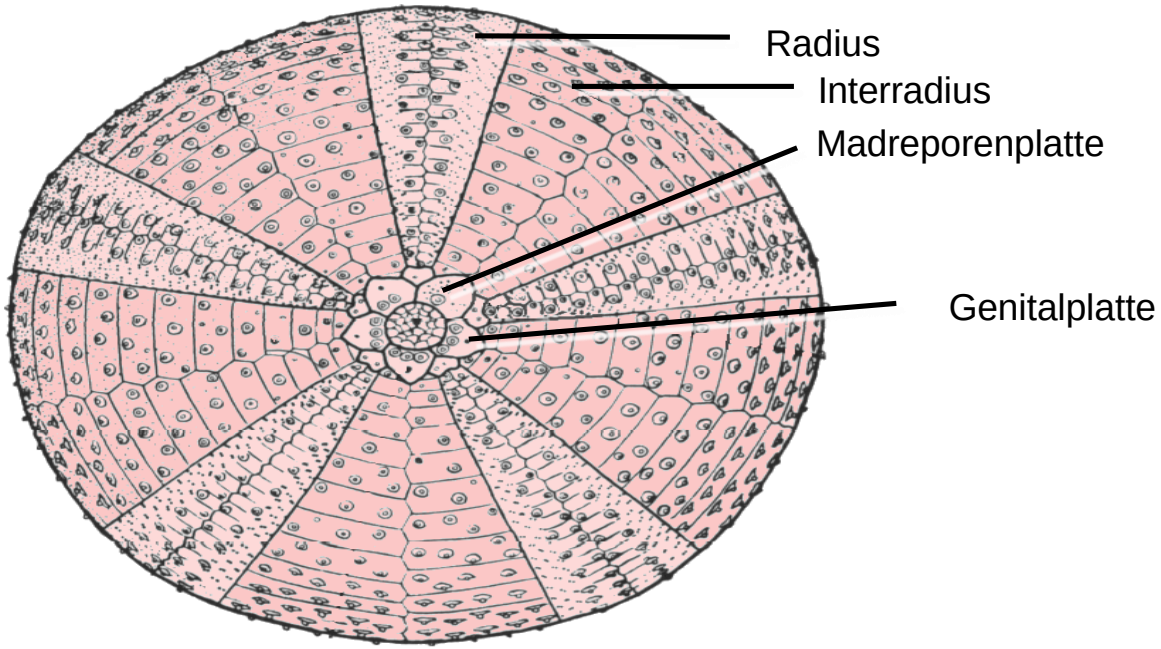




Echinodermata

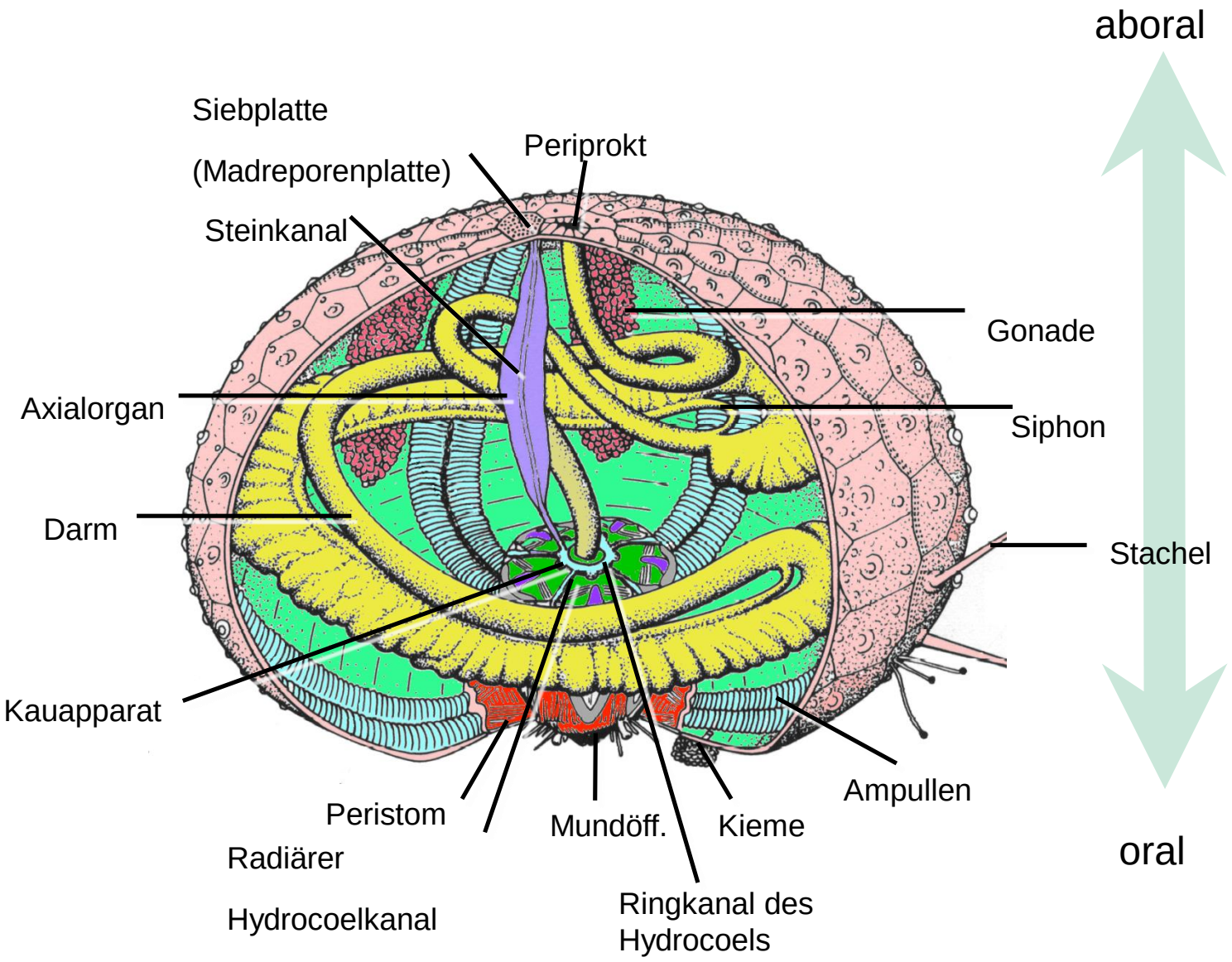
- **Echinoida (Seeigel):**

Aboralansicht eines Seeigels



Echinodermata

- **Echinoida (Seeigel):**



Echinodermata

- **Echinoida (Seeigel):**

Irreguläre Seeigel:

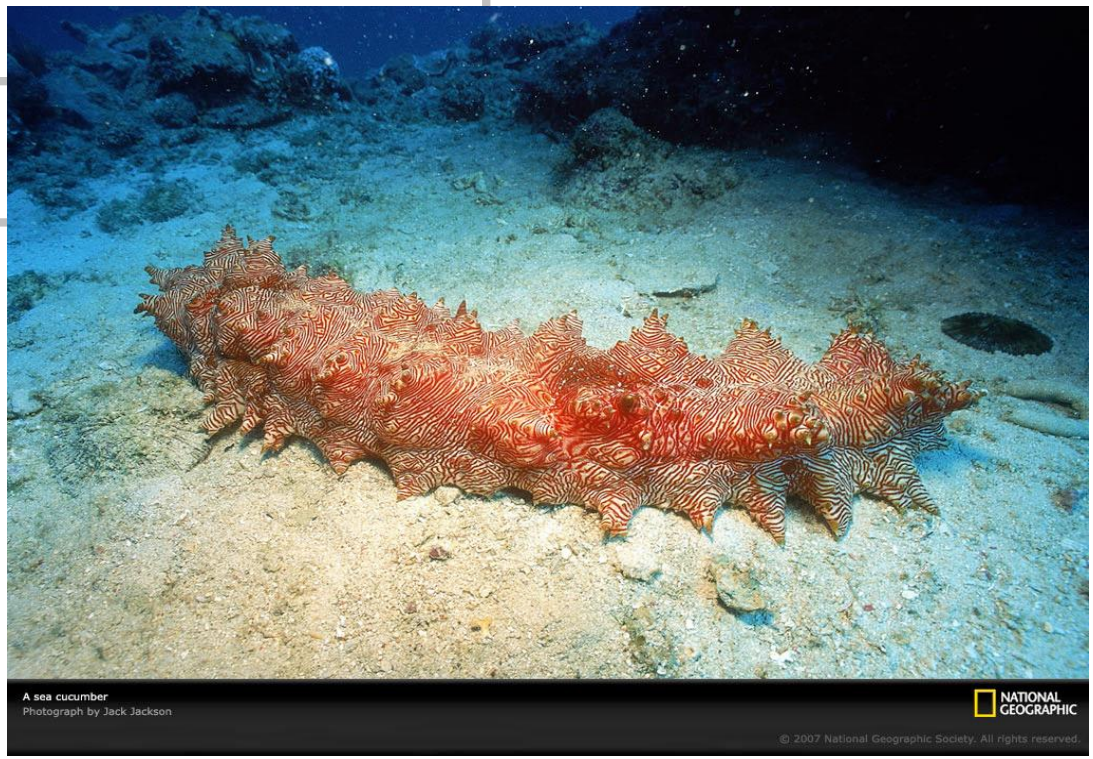
- meist bilateralsymmetrisch
- auf Weichsubstrat, oft vergraben

- meist ohne Kieferapparat

Echinodermata

Eleutherozoa

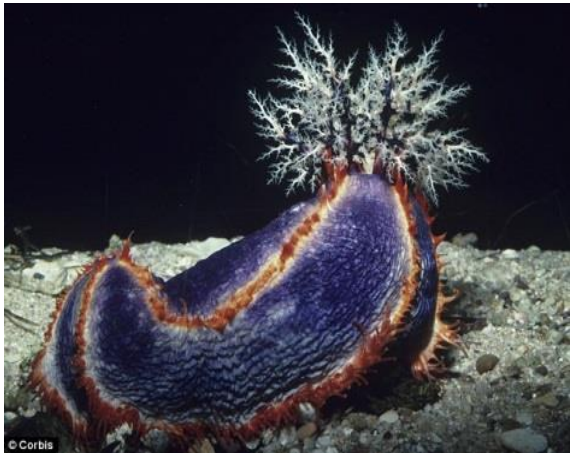
Seelilien (Crinoidea) | Seesterne (Asteroidea) | Schlangensterne (Ophiuroidea) | Seeigel (Echinoidea) | **Seegurken (Holothuroidea)**



Echinodermata

- **Holothuroida (Seegurken) – ca. 1400 Arten** (ZMT - PeerJ 2018)

- Reduktion des Skelettes, dadurch freier beweglich, wurmförmig
- teilweise mit Tentakeln
- Hocheffektive Biofilter



Echinodermata

- **Holothuroidea (Seegurken)**

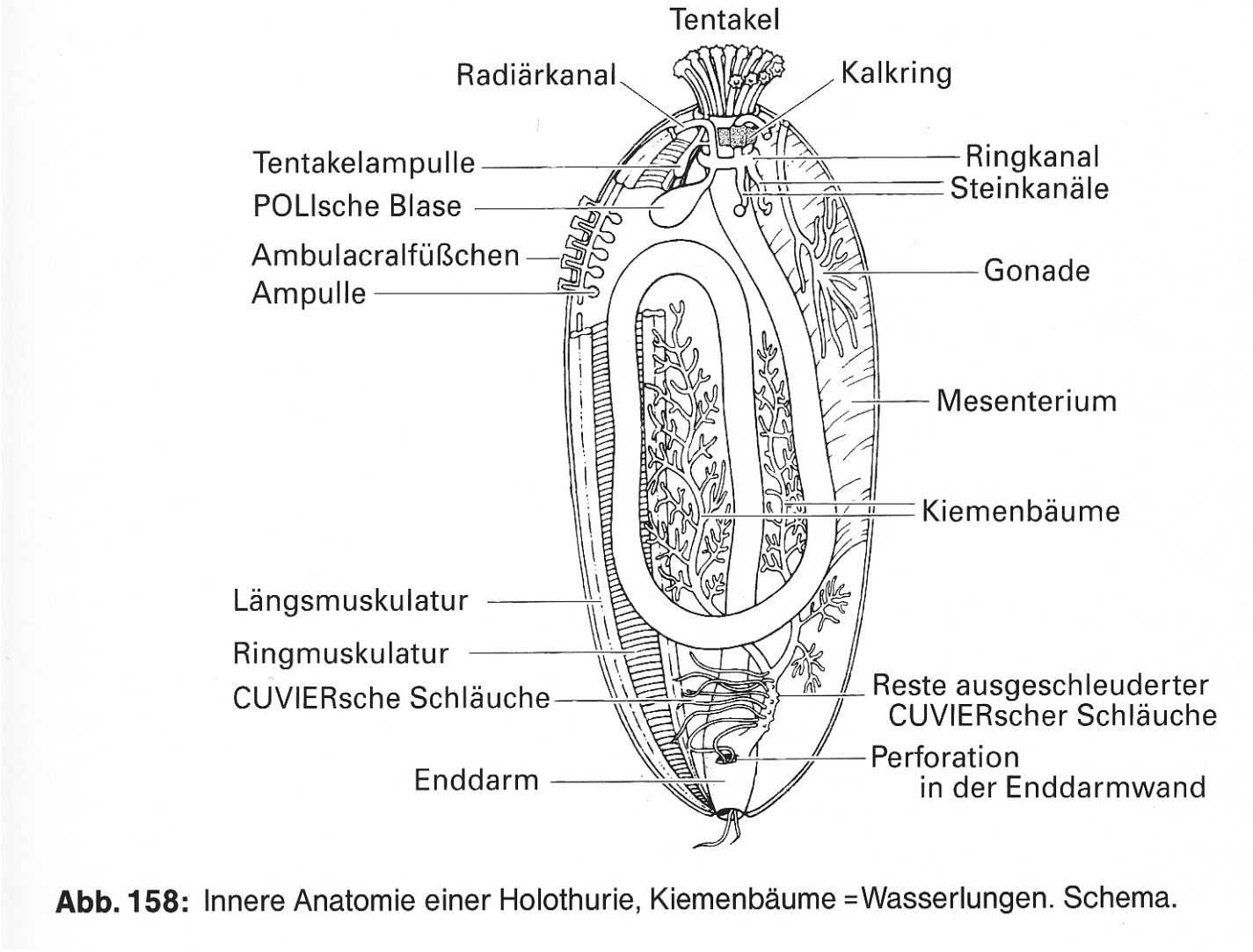


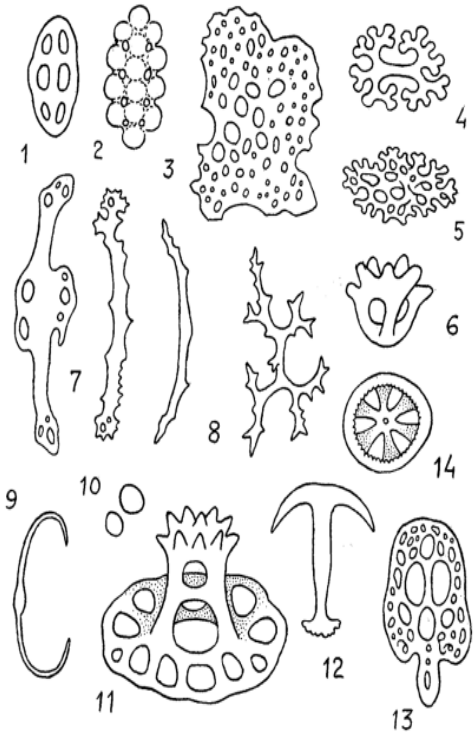
Abb. 158: Innere Anatomie einer Holothurie, Kiemenbäume = Wasserlungen. Schema.

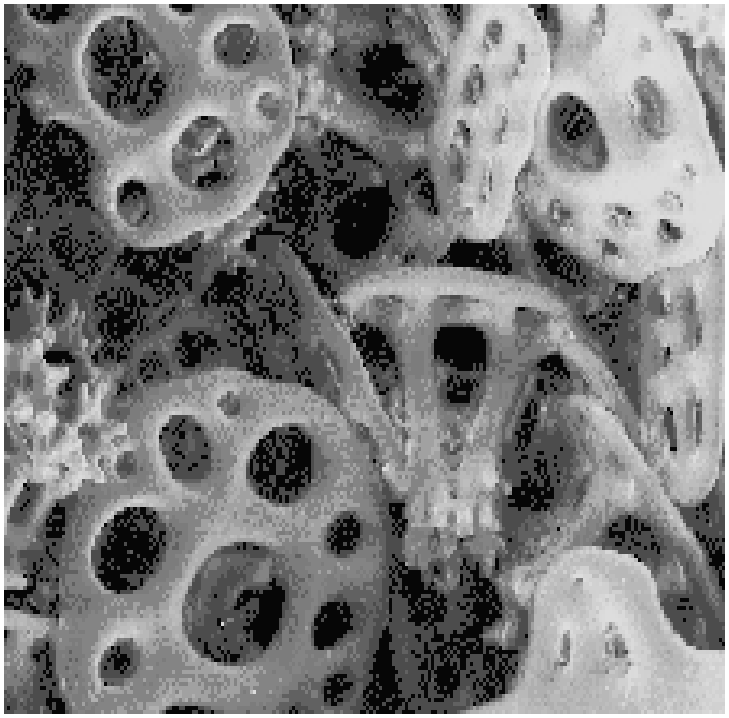
(Storch / Welsch: Kükenthals Zoologisches Praktikum)

Echinodermata

- **Holothuroidea (Seegurken)**

Sklerite in der Haut der Seegurken





http://www.ucmp.berkeley.edu/echinodermata/holothuroidea.html

Echinodermata

- **Holothuroidea (Seegurken)**

Echinodermata

- **Seegurken in Asien stark befischt – Trepang / Beche-de-mer**

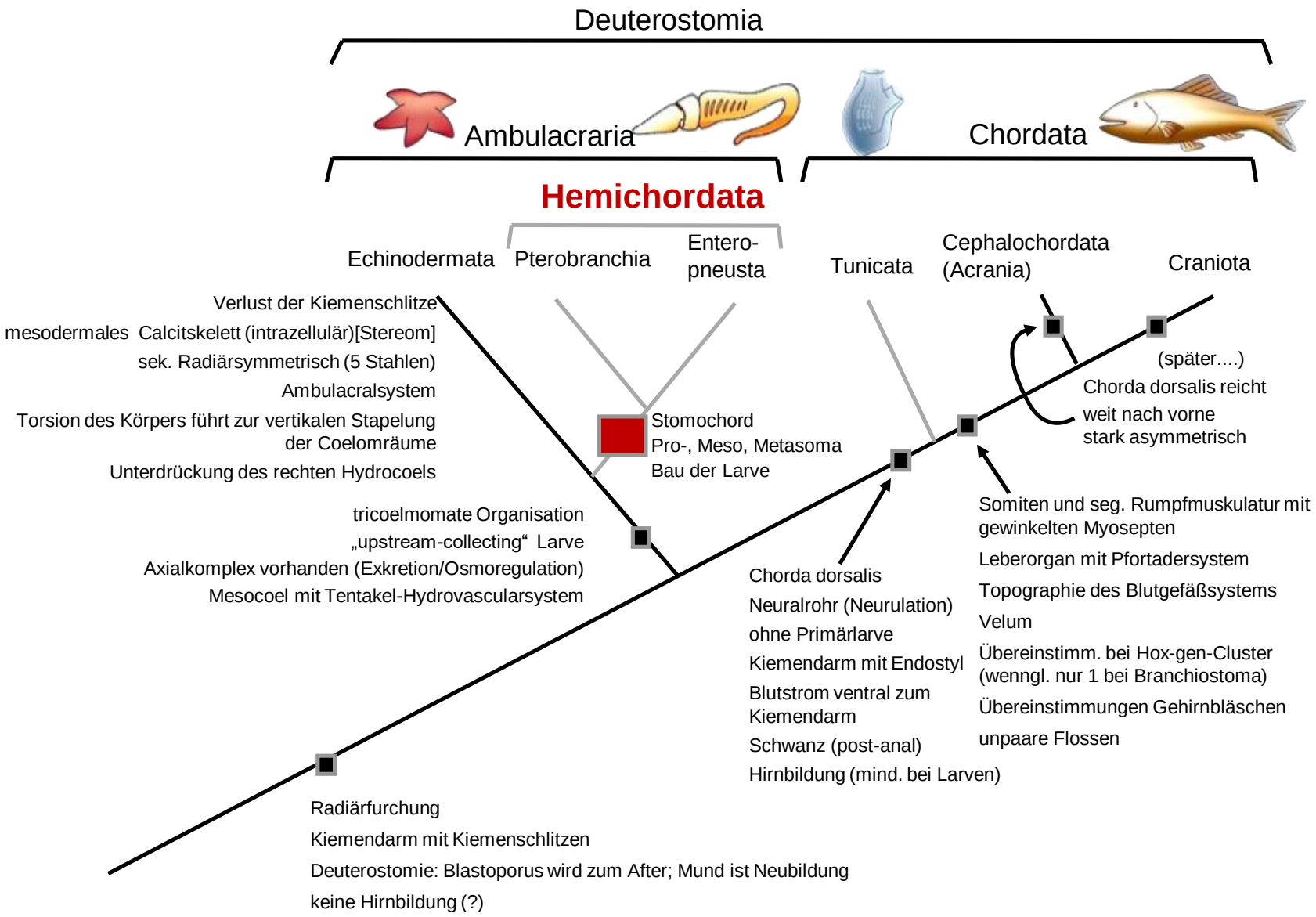
- **Gurken-Gourmets zahlen 2.700 € / kg (getrocknet) – z.B. 30.000 t / Jahr - asiatischer Markt**
- **70 kommerziell genutzte Arten: Indopazifik (Mittelmeer & Atlantik)**

  – gefährdet Arten & Lebensräume (Seegraswiesen / Korallenriffe durch Algenaufwuchs bedroht)

Echinodermata

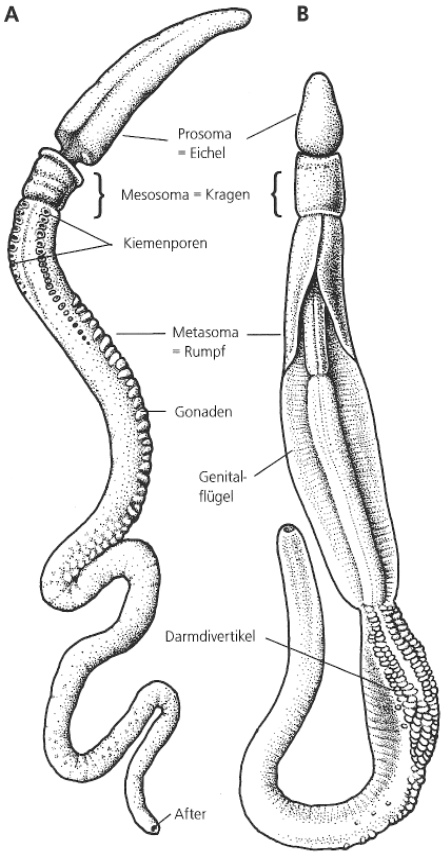
- **Das Wichtigste über Stachelhäuter zusammengefasst**
  - ca. 7.000 Arten heute leben (13.000 fossile Arten!), davon die Seelilien sessil
  - Schwestergruppe der Hemichordata; erstes Auftreten: mittleres Kambrium
  - monophyletische Gruppe
  - Endoskelett, mesodermal (primäre Mesodermzellen), Calcit-Platten als intrazelluläre Bildungen (Sklerocyten)
  - sekundär pentamer; die ursprüngliche Körperlängsachse entspricht der Oral-Aboral-Achse: Bilateralsymmetrie der Larve !
  - Ambulacral-System (Wasser-Gefäßsystem); li. Mesocoel-Derivat
  - mit ursprünglicher, bewimperter Primärlarve (Dipleurula); Metamorphose
  - urspr. tricoelomate Organisation stark abgewandelt
  - hoch regenerationsfähig
  - rel. diffuses Nervensystem, mit ektoneuralem / hyoneuralem System und basiephithelialem Plexus
  - Exkretion und Gasaustausch dezentral (Papulae, Coelom, Madreporenplatte...)

System der Deuterostomia („Neumünder")



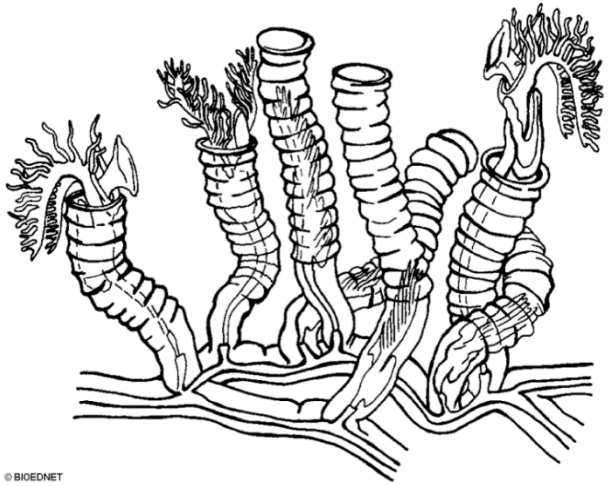
Hemichordata: Eichelwürmer und Flügelkiemer

- **Enteropneusta** (ca. 75 Arten)



reschkowskii (Harrimaniidae), 4 cm. Kosmopolit, auch im Mittelmeer, 15–40 cm tief im Schlammboden. Eichel fleischfarben, Kragen rötlich. B *Balanoglossus clavigerus* (Ptychoderidae), 25 cm. Im Mittelmeer in Sandböden des Gezeitenbereichs und darunter. Gelblich blaßbraun. Nach verschiedenen Autoren.

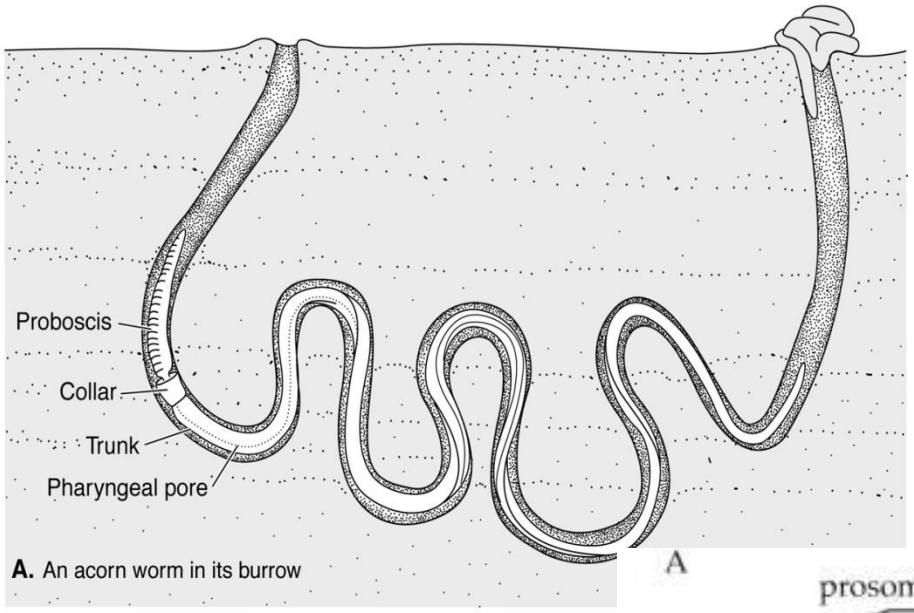
- **Pterobranchia** (ca. 28 Arten)



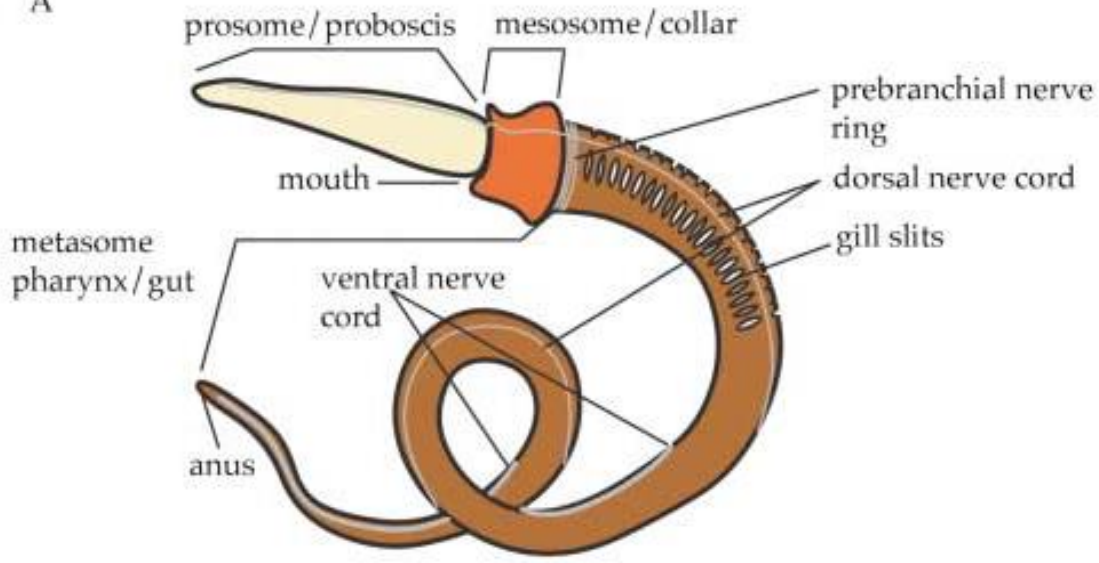
- wurmförmig oder Kolonien bildend
- Kleinpartikelfresser, Filtrierer
- diffuses Nervensystem (keine Gehirnbildung), dorsaler & ventraler Längsstrang
- komplexe Sinnesorgane fehlen
- urspr. tricoelomat (Proto-, Meso-, Metacoel)
- Kiemendarm mit Kiemenschlitzen vorhanden
- bewimperte Primärlarve (Tornaria), Metamorphose

Hemichordata

- **Enteropneusta** ***Saccoglossus***

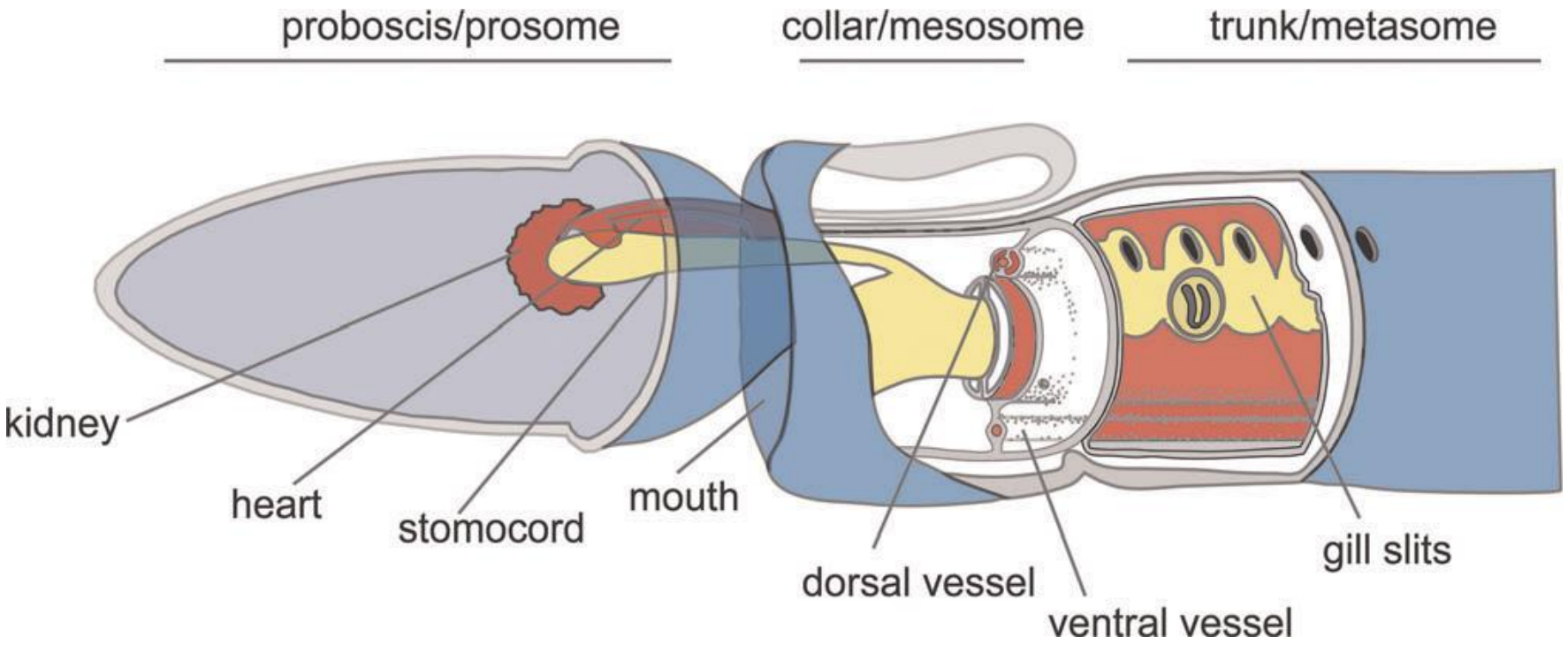


Lebensweise



Hemichordata

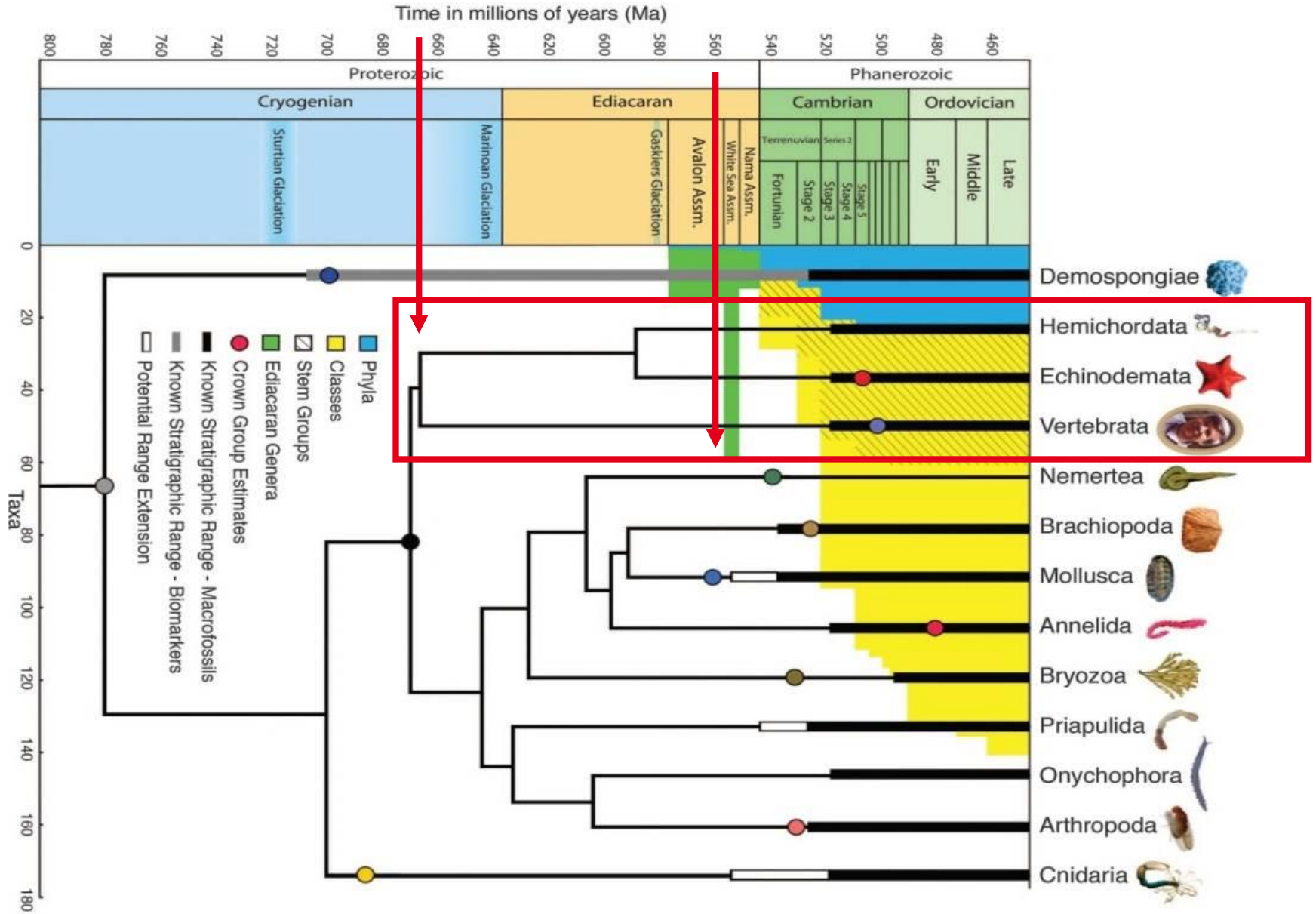
- **Enteropneusta**



- diffuses Nervensystem (keine Gehirnbildung)
- dorsaler & ventraler Längsstrang
- komplexe Sinnesorgane fehlen
- urspr. tricoelomat (Proto-, Meso-, Metacoel)
- Kiemendarm mit Kiemenschlitzen vorhanden

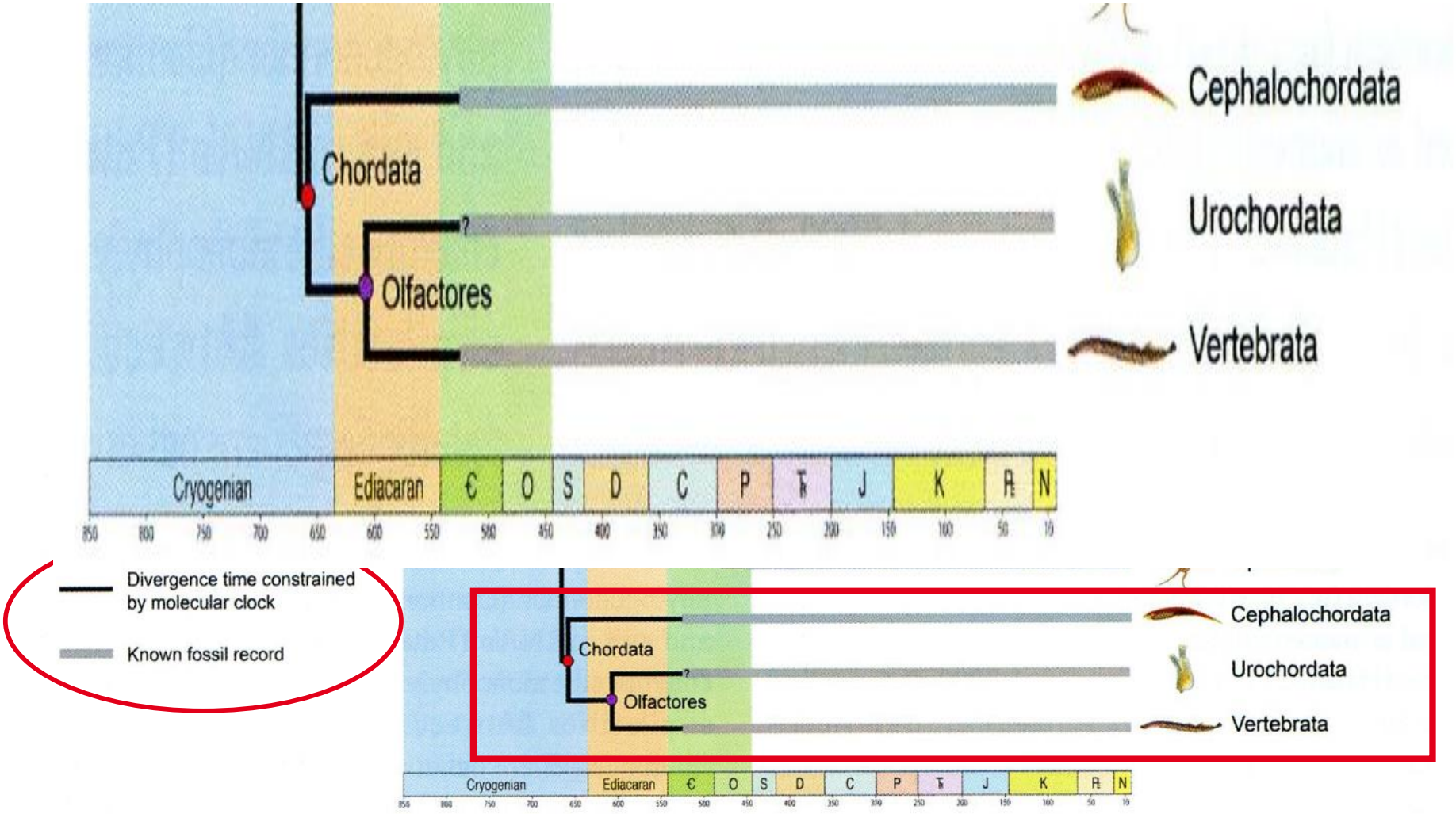
aus Lowe et al. 2006

Alte Linien aus präkambrischer Zeit

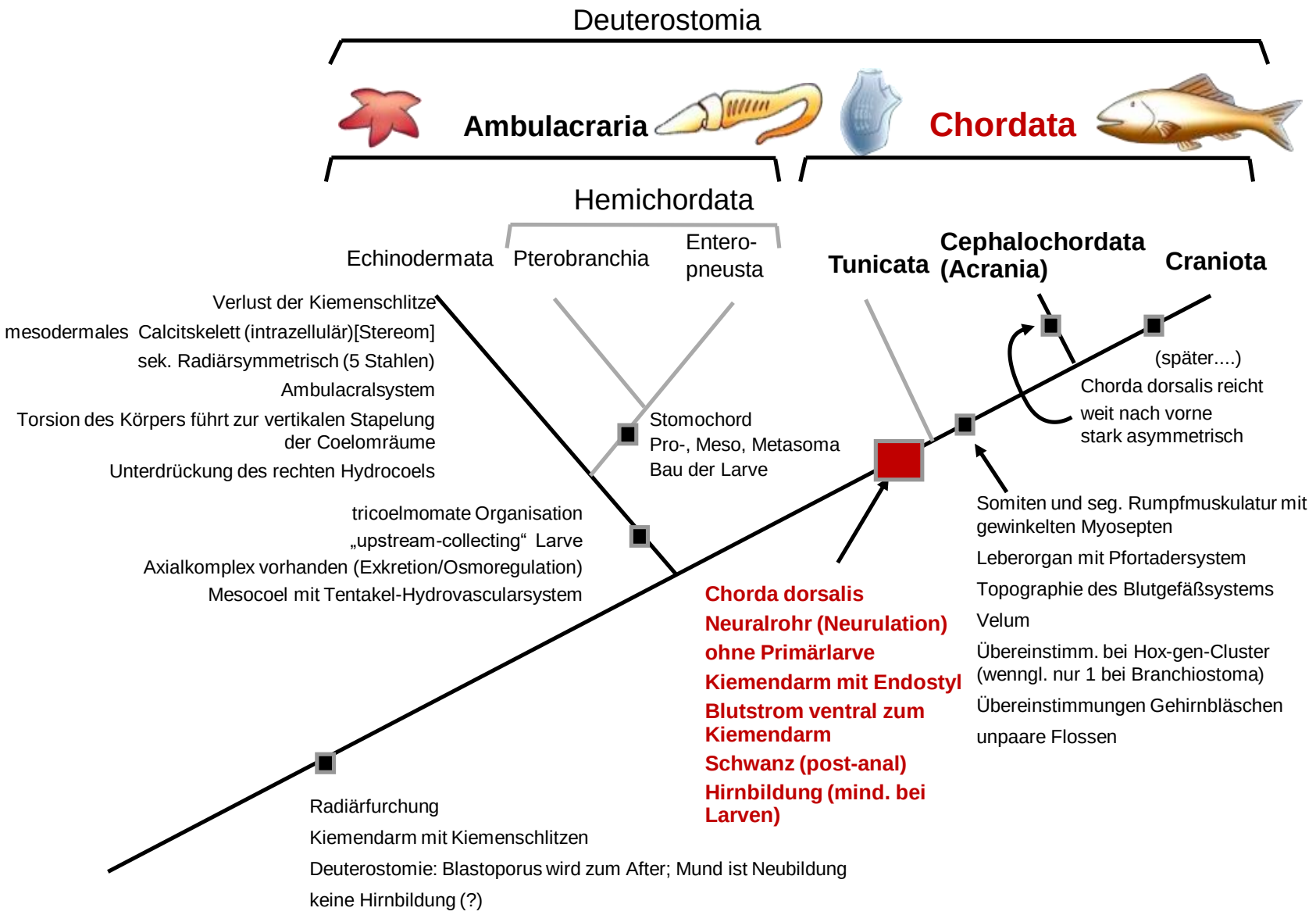


Ursprung und Verwandtschaft der Bilateria

- **Zu Alter und phylogenetischer Stellung der Chordata**

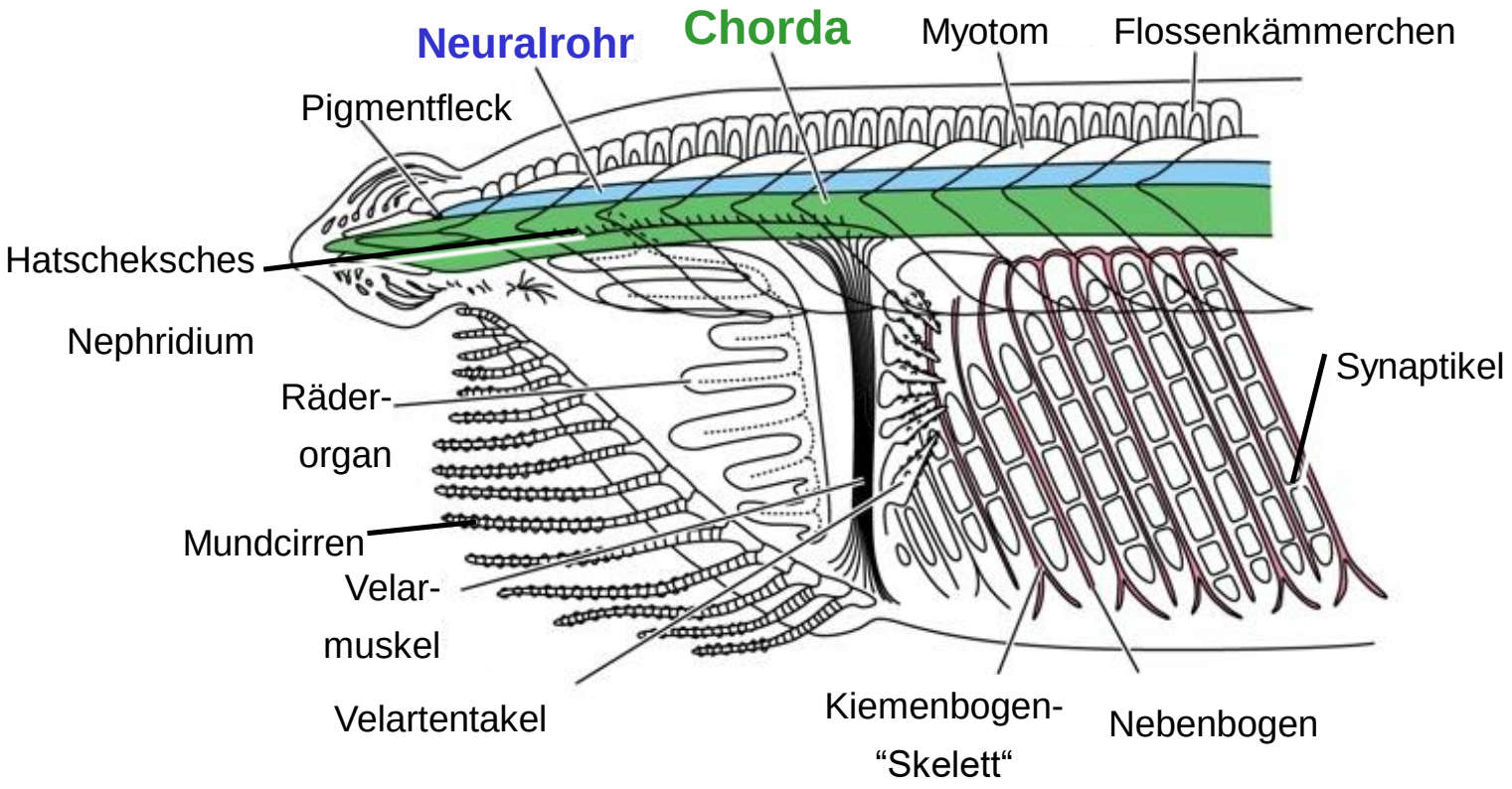


System der Deuterostomia („Neumünder")



Chordata – Tiere mit einer Rückensaite

- **Chorda dorsalis – dauerhaft / embryonal-larvales Achselskelett**

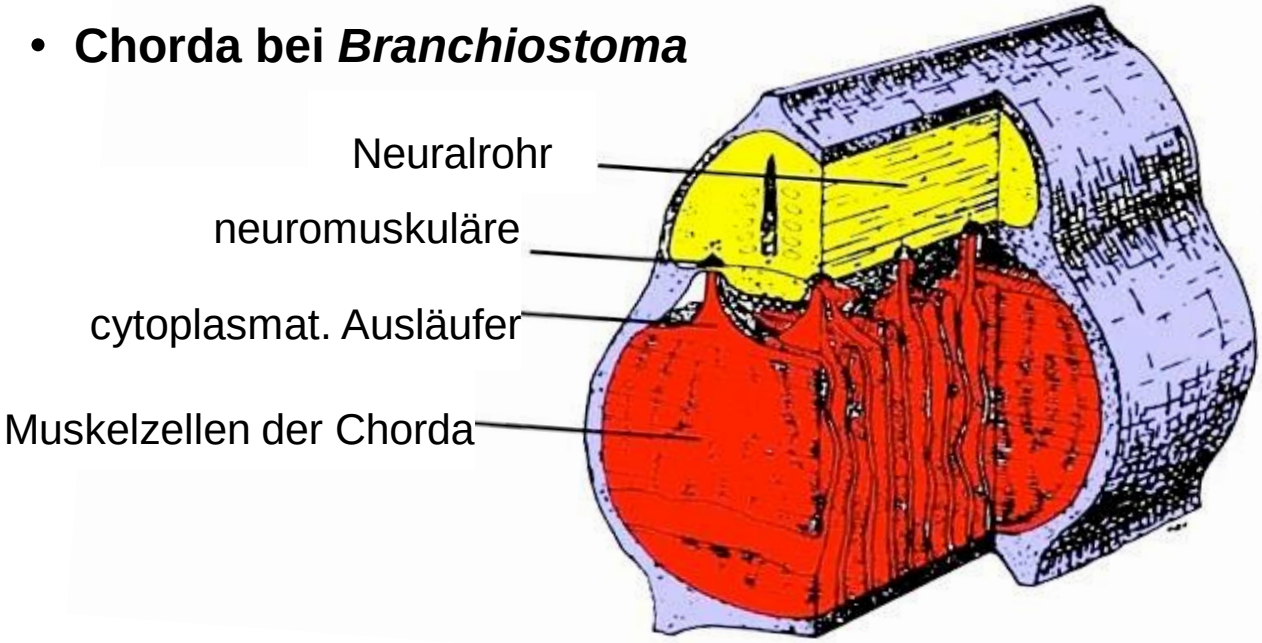


- **Vorderdarm von Kiemenspalten durchbrochen (bei Amnioten: Eustachsche Röhre!)**

(modifiziert aus Liem et al. Functional Anatomy of Vertebrates)

Chordata – Tiere mit einer Rückensaite

- **Chorda bei *Branchiostoma***



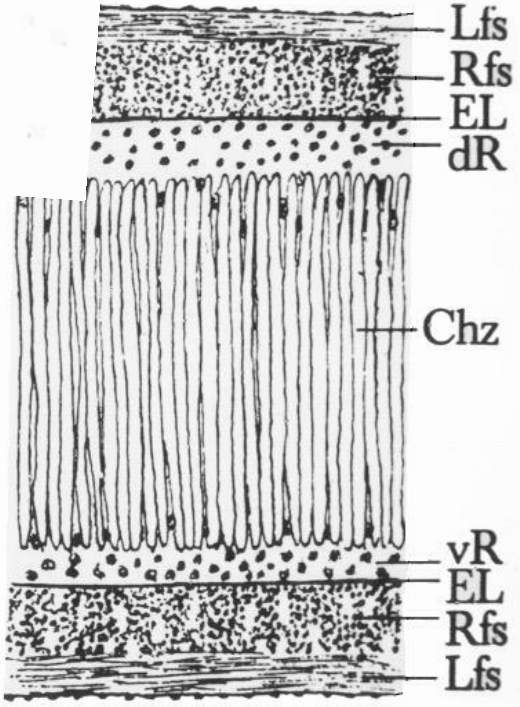
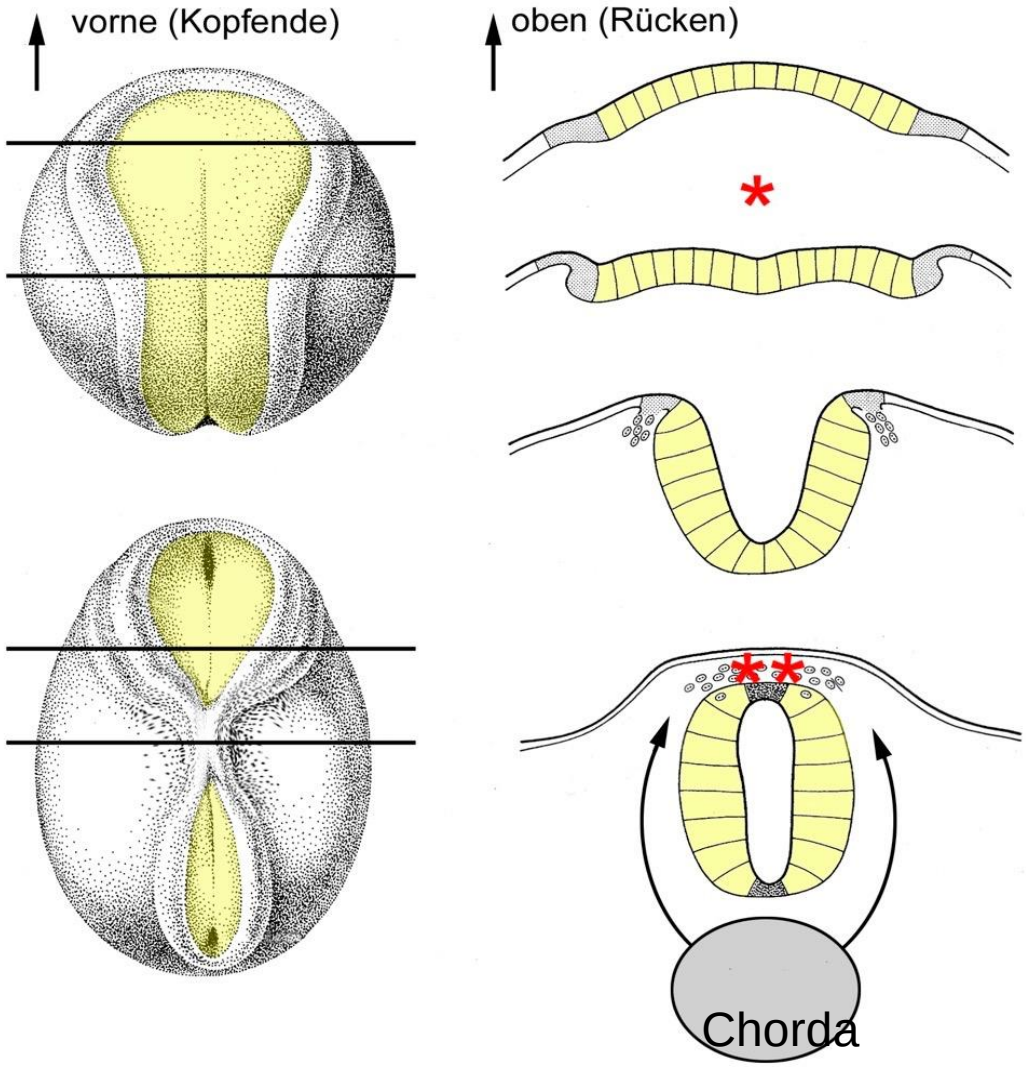


Abb. 60. Längsschnitt durch ein Stück der Chorda. Nach Pietschmann. Chz scheibenförmige Chordazellen; dR Dorsalrinne mit Müllerschem Gewebe; El Elastica interna; Lfs Längsfaserscheide; Rfs Ringfaserscheide; vR Ventralrinne mit Müllerschem Gewebe.

Chordata – die Chorda-Tiere

- **Entstehung der Chorda**

Neurulation

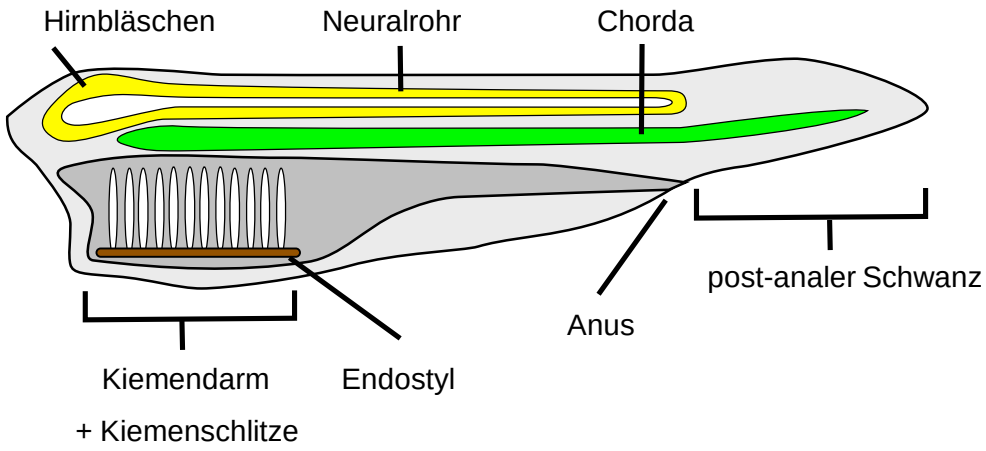


© Helmut Wicht, Frankfurt

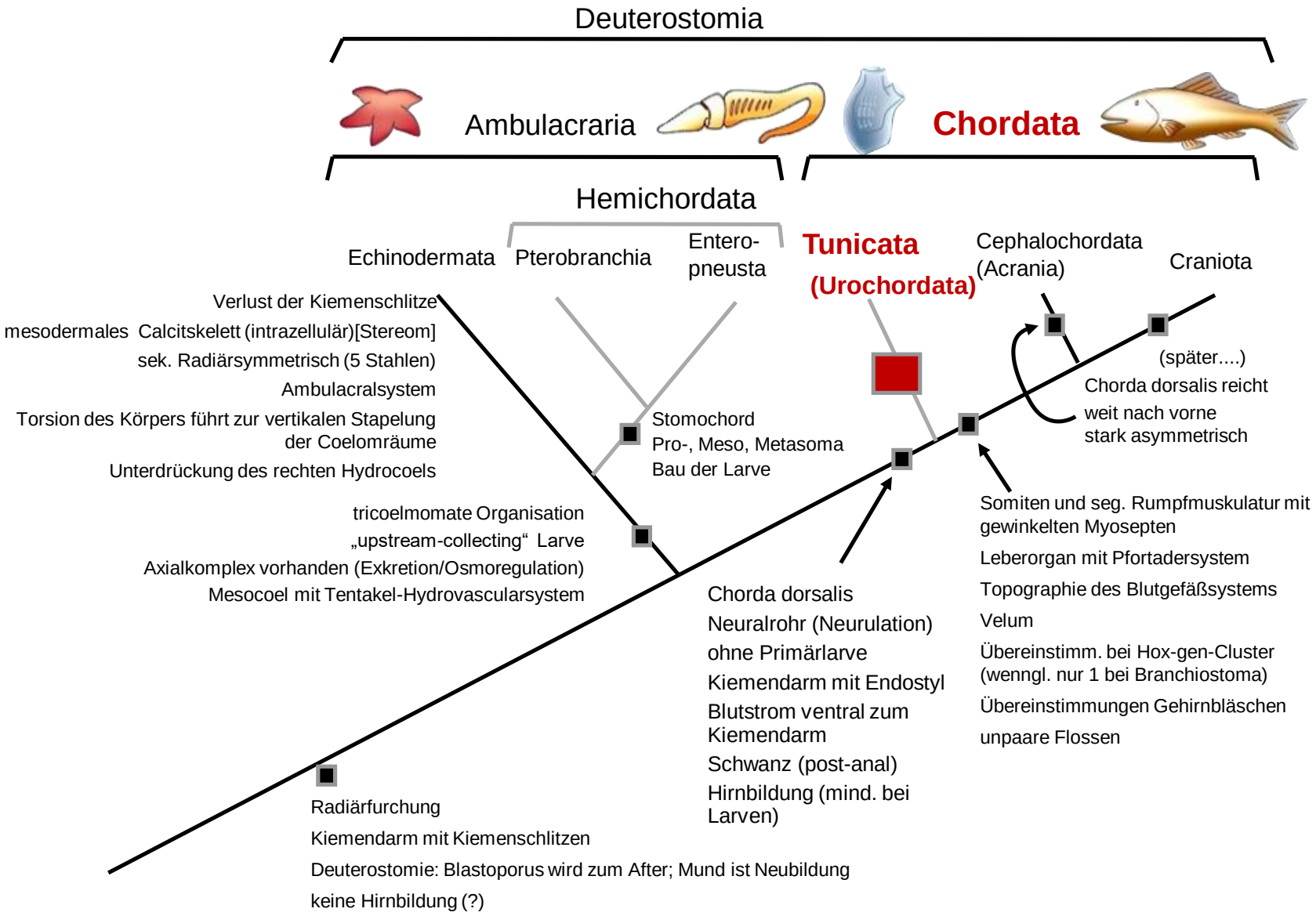
Chordata (Chorda-Tiere)

- **Apomorphien**

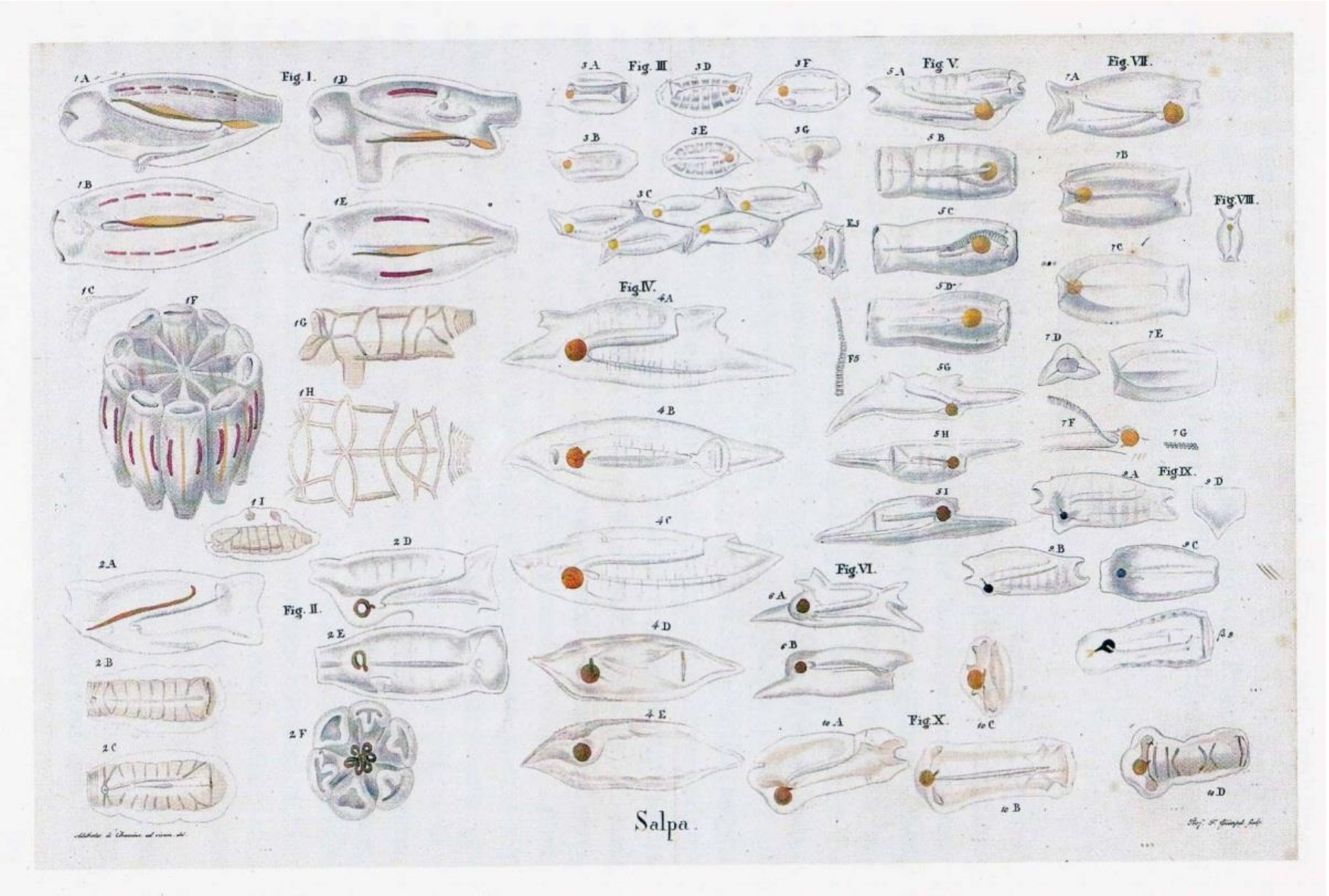
- **Chorda dorsalis**
- **Neuralrohr - entsteht durch Neurulation**
- **ohne Primärlarve**
- **Kiemendarm mit Endostyl**
- **Blutgefäßsystem - Blutstrom ventral zum Kiemendarm**
- **Schwanz (post-anal)**
- **Hirnbildung (mind. bei Larven)**
- **Metamerie der Muskulatur (Myotome)**



System der Deuterostomia („Neumünder")

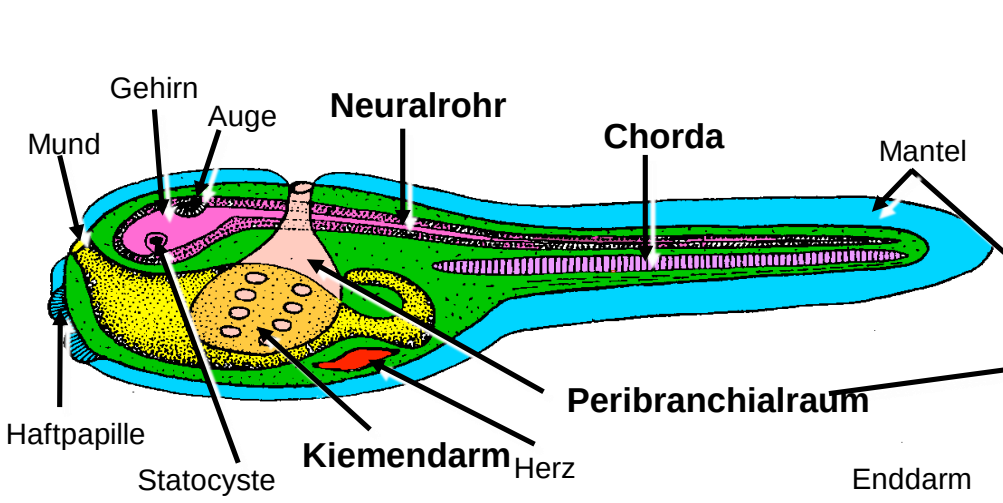


Tunicata – Manteltiere (oder Urochordata)

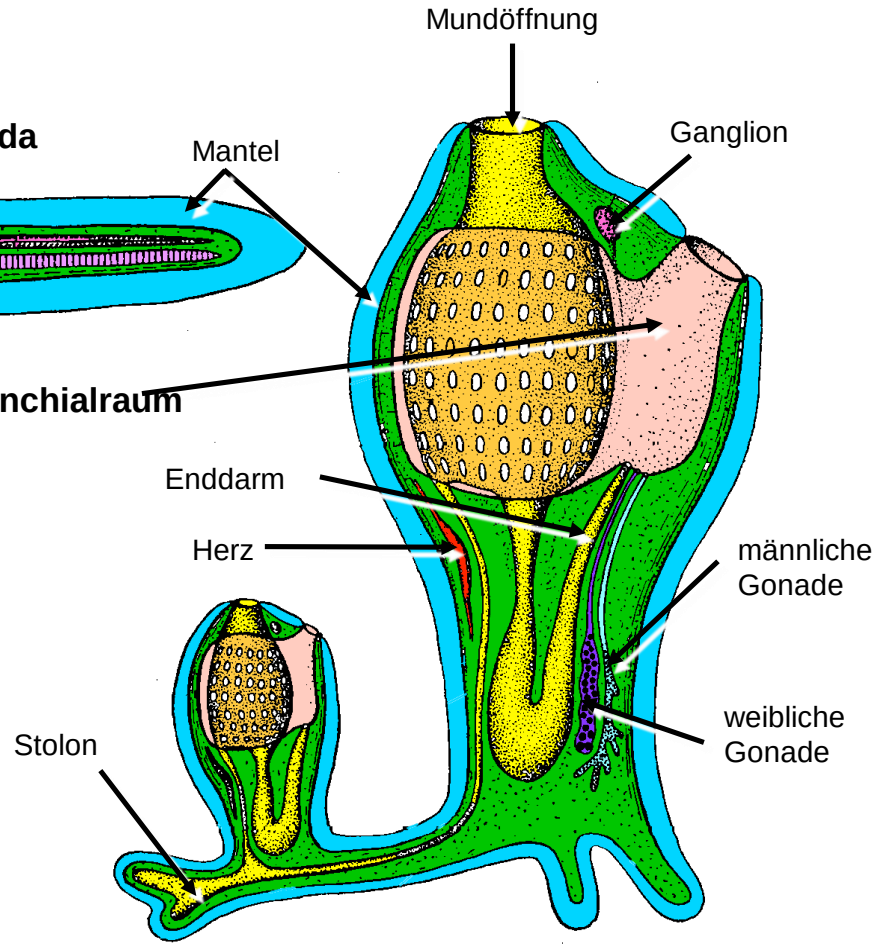


Tunicata – Manteltiere (oder Urochordata)

- **„Ascidiacea“ (Seescheiden) – Körperbau**



Ascidienlarve mit Chorda



Ausgewachsene Ascidie mit Tochterascidie

- **Cuticular-Mantel (Cellulose)**

  [horizontaler Gen-Transfer v. Symbiont!]

- **Chorda & Neuralrohr**

  im Schwanz der Larve

Tunicata – Manteltiere

- **Ascidia (Seescheiden) – Metamorphose**

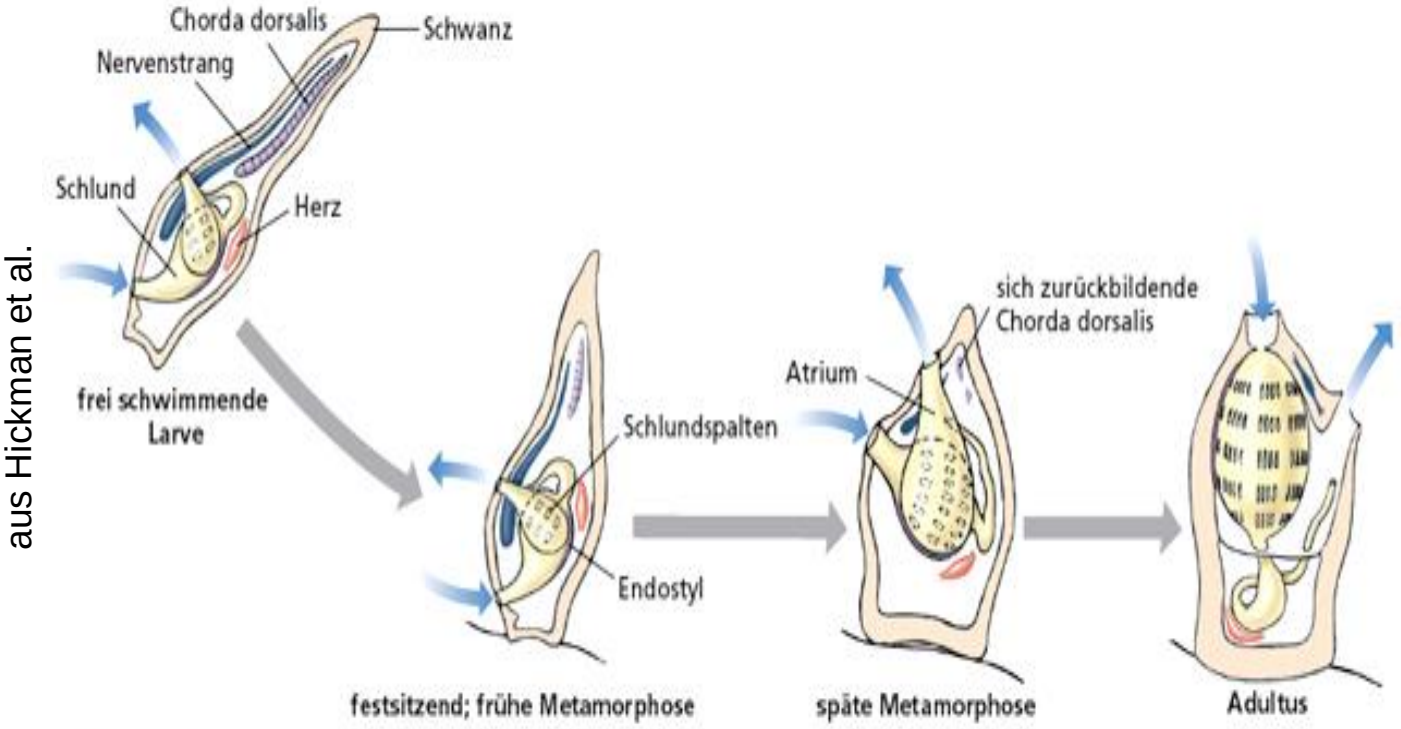
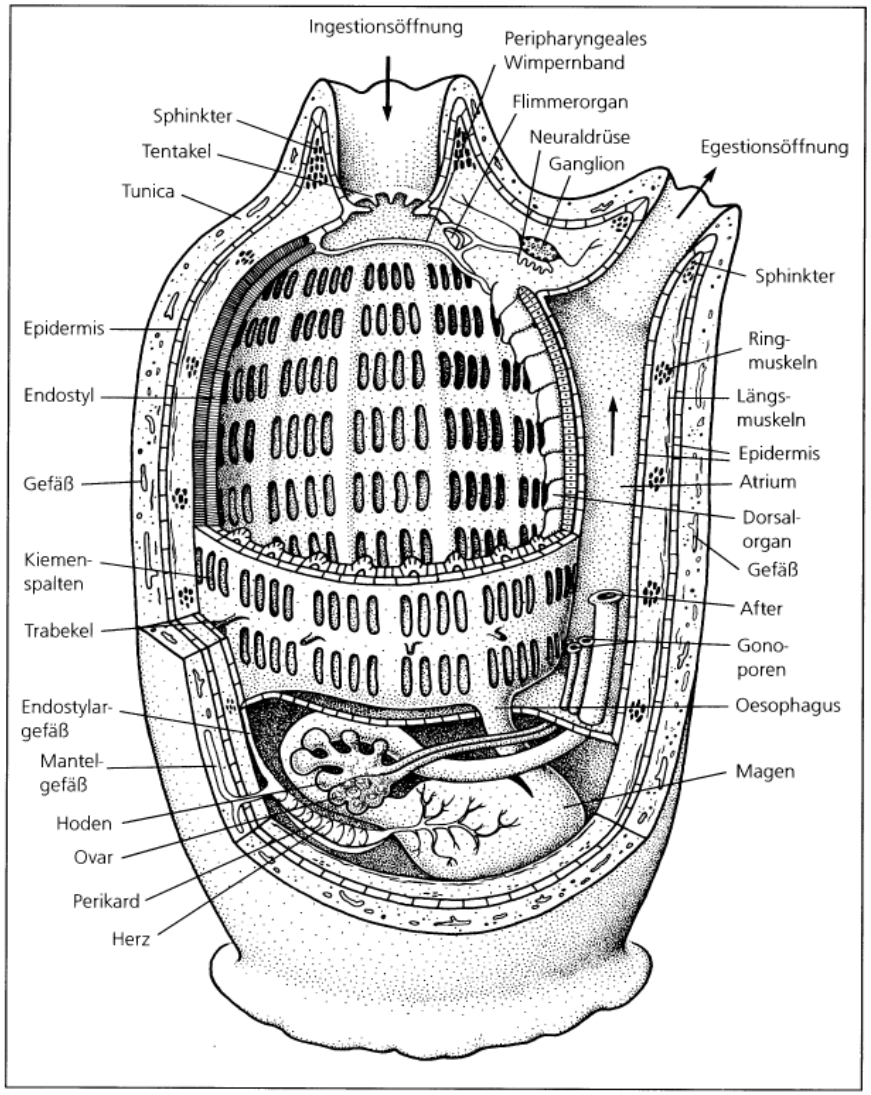


Abbildung 23.6: **Kaulquappenlarve.** Metamorphose einer solitären Ascidie aus einem freischwimmenden Kaulquappenstadium.

- **Reduktion des Larvenschwanzes – Larvenform phylogenetisch ursprünglich**

Tunicata – Manteltiere

- **Ascidia, Seescheide**



aus Westheide & Rieger

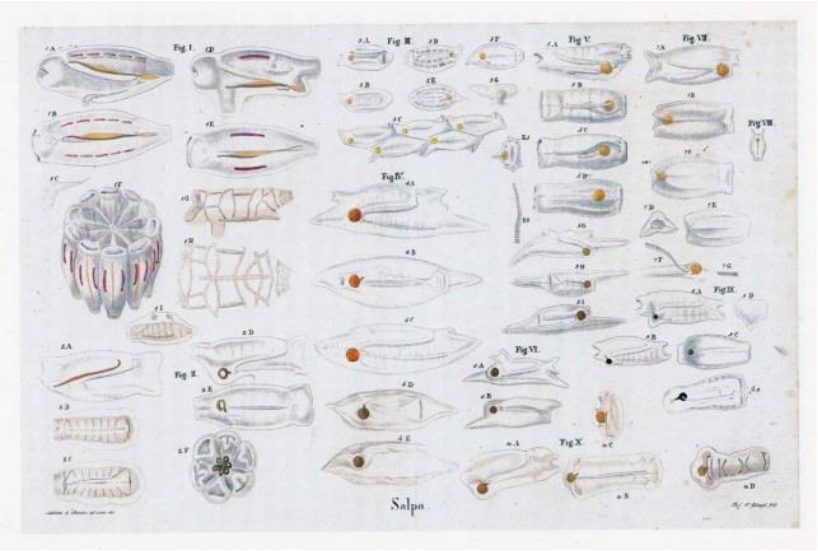
- **Hypobranchialrinne**

nach außen sezernierend

(bei Amnioten: Schilddrüse – reichert Jod an!)

Abb. 1136: Tunicata. Organisationsschema einer Ascidie. Eine Hälfte der Tunica und ein Teil des Kiemendarms entfernt. Original: A. Goldschmid, Salzburg, nach verschiedenen Autoren.

Tunicata – Manteltiere

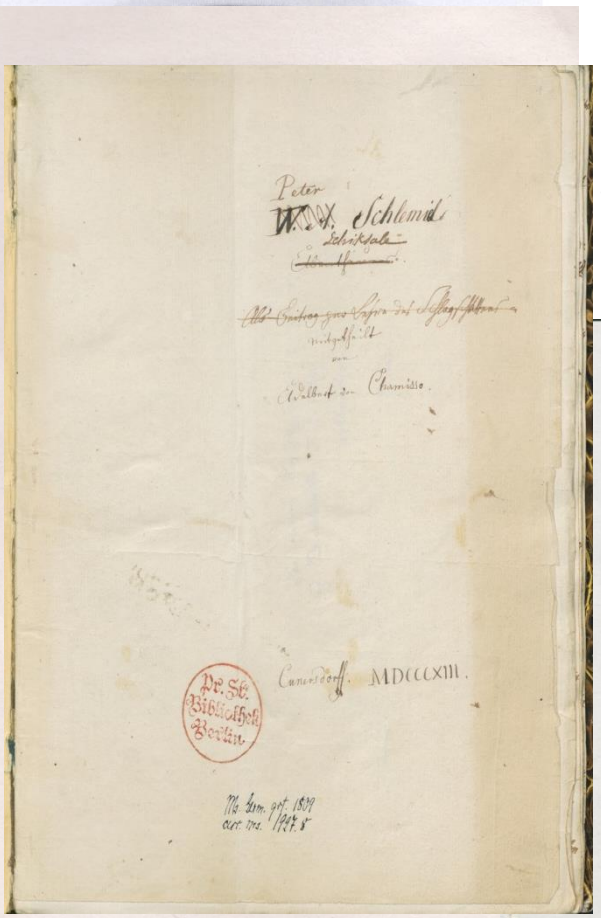


- ca. 2.200 Arten
- divers, aber Monophylie wahrscheinlich
- sessil oder pelagisch, solitär oder Kolonie
- **Ascidien** – Larven frei, Adult sessil (2.000 Arten)

  Salpen – freischwimmend-pelagisch (50 Arten)

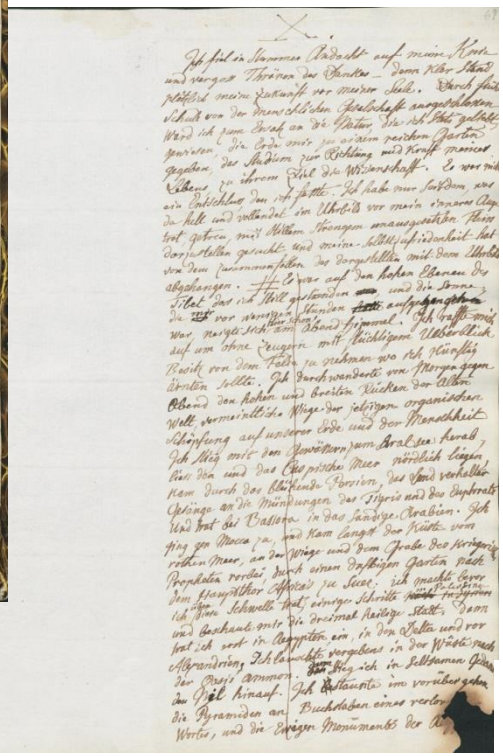
  Appendicularia – freischwebend, Neotenie (als Larvenform geschlechtsreif) (70 Arten)
- **„Ascidiacea“** (Seescheiden) wohl paraphyletisch (mol.-genetisch)
- Tunica mit Cellulose
- urspr. Kiemendarm (Pharynx) mit Endostyl, Schleimfiltration
- bei sessilen Formen ist das Neuralrohr reduziert; Ganglion
- Chorda dorsalis kann beim Adultus reduziert sein; Larve mit Chorda dorsalis
- Generationswechsel bei **Thaliacea** (Salpen)

Adelbert von Chamisso



Peter Schlemihl

- **deutscher Dichter der Romantik**
  franz. Abstammung
- **ein Spätberufener,**
  ab 1812 Univ. Berlin

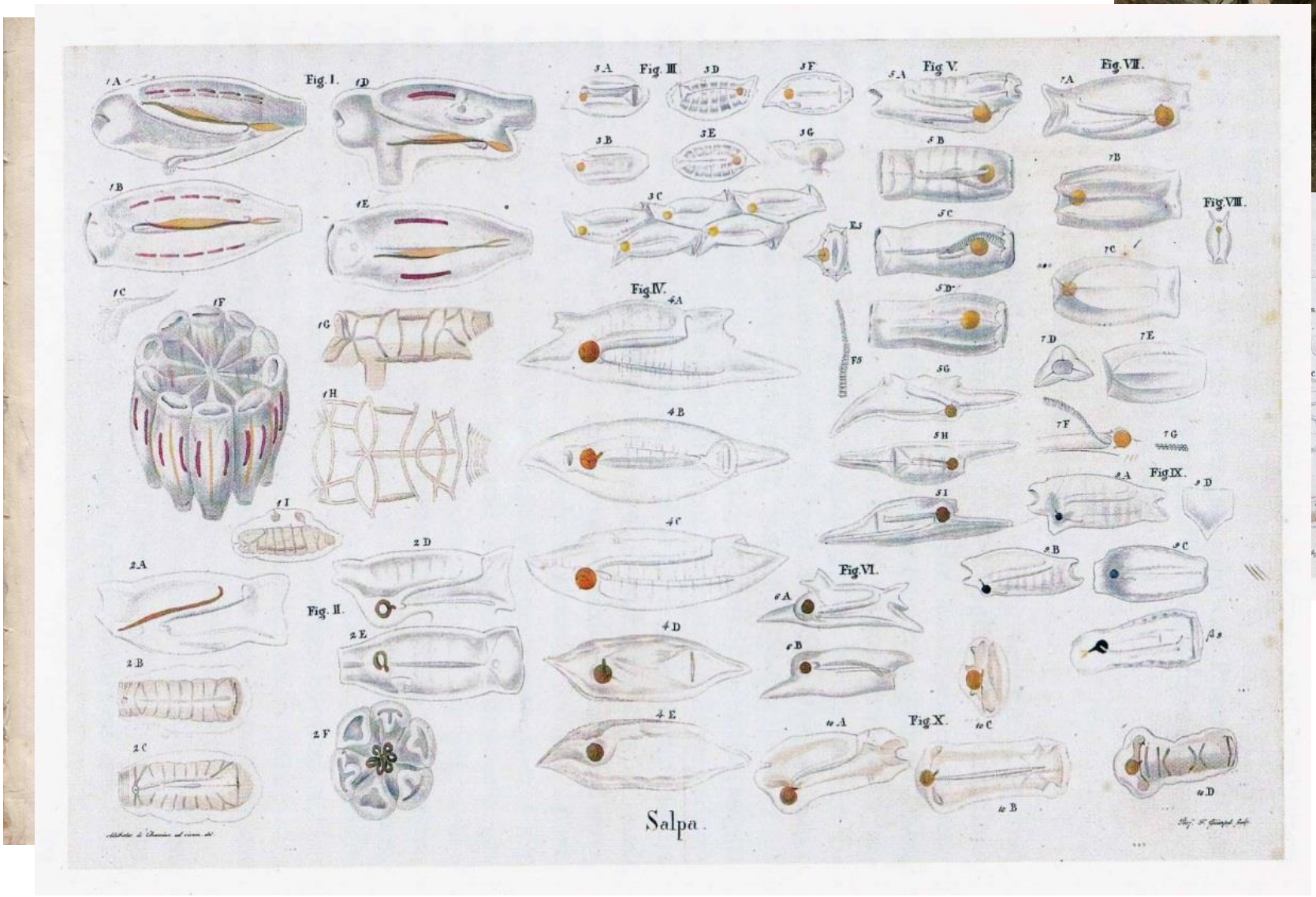


Adelbert von *Chamisso in der Südsee,*
Aquarell von Ludwig Choris, Oktober 1817

***„Peter Schlemihls wundersame Geschichte“* (1814)**

De Salpa – „Es setzt etwas Neues . . . “

- **Der Generationswechsel der Tunicata (Manteltiere)**



Der Generationswechsel der Tunicata

- **Zwei alternative Körperbaupläne:** **Thaliacea mit zyklischer bzw. linearer Salpenkette**

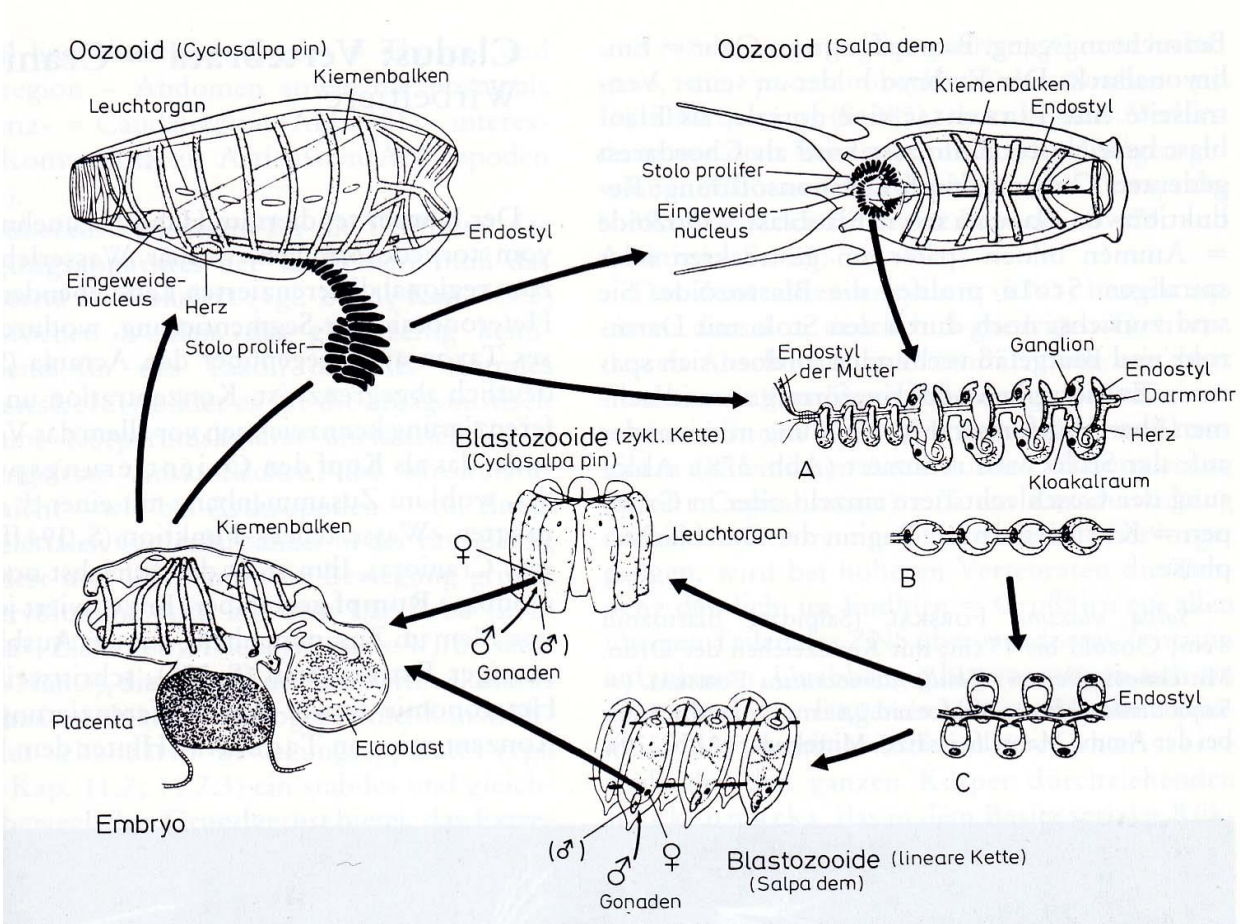
- **Solitärsalpe:**
  asexueller Oozooid

„Proles solitaria“ /

„Ammentier“

- **Kettensalpe:**
  sexuelle Blastozooide

„Proles gregata

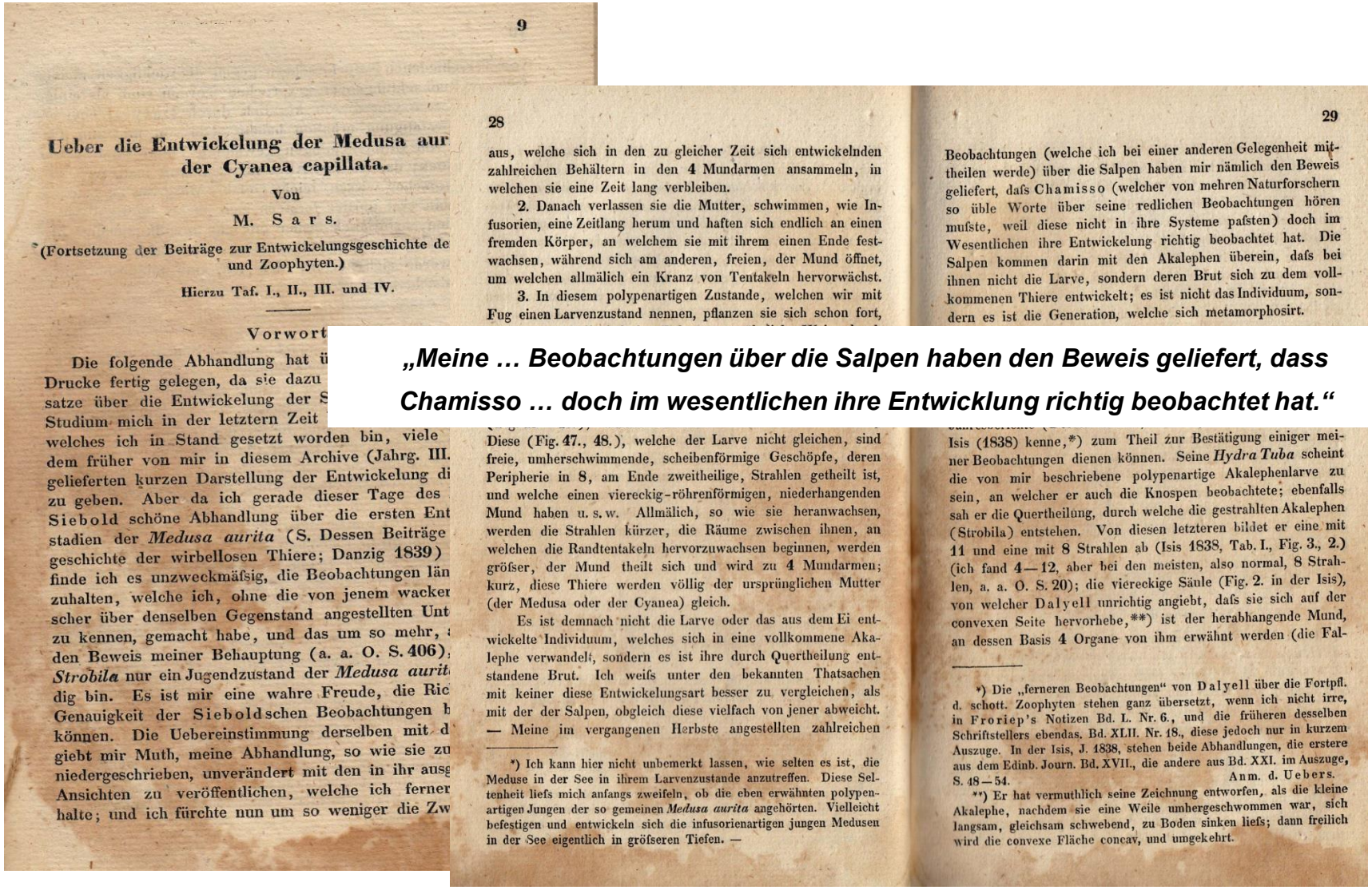


„Zwei verschieden aussehende, aufeinanderfolgende Generationen bilden eine Art.“

Adelbert von Chamisso (1819): „Voyage de Kotzebue – Lettre écrite …. “

Der Generationswechsel wird bestätigt

- **Michael Sars (1841) – Generationswechsel an Hohltieren (Cnidaria) / Hydrozoen & Scyphozoen**



9

Ueber die Entwickelung der Medusa aur
der Cyanea capillata.

Von

M. Sars.

(Fortsetzung der Beiträge zur Entwickelungsgeschichte de
und Zoophyten.)

Hierzu Taf. I., II., III. und IV.

Vorwort

Die folgende Abhandlung hat ü
Drucke fertig gelegen, da sie dazu
satze über die Entwickelung der S
Studium mich in der letztern Zeit
welches ich in Stand gesetzt worden bin, viele
dem früher von mir in diesem Archive (Jahrg. III.
gelieferten kurzen Darstellung der Entwickelung di
zu geben. Aber da ich gerade dieser Tage des
Siebold schöne Abhandlung über die ersten Ent
stadien der *Medusa aurita* (S. Dessen Beiträge
geschichte der wirbellosen Thiere; Danzig 1839)
finde ich es unzweckmäfsig, die Beobachtungen län
zuhalten, welche ich, ohne die von jenem wacker
scher über denselben Gegenstand angestellten Unt
zu kennen, gemacht habe, und das um so mehr,
den Beweis meiner Behauptung (a. a. O. S. 406),
Strobila nur ein Jugendzustand der *Medusa aurit*
dig bin. Es ist mir eine wahre Freude, die Ric
Genauigkeit der Sieboldschen Beobachtungen b
können. Die Uebereinstimmung derselben mit d
giebt mir Muth, meine Abhandlung, so wie sie zu
niedergeschrieben, unverändert mit den in ihr ausg
Ansichten zu veröffentlichen, welche ich ferner
halte; und ich fürchte nun um so weniger die Zw

28

aus, welche sich in den zu gleicher Zeit sich entwickelnden zahlreichen Behältern in den 4 Mundarmen ansammeln, in welchen sie eine Zeit lang verbleiben.

2. Danach verlassen sie die Mutter, schwimmen, wie Infusorien, eine Zeitlang herum und haften sich endlich an einen fremden Körper, an welchem sie mit ihrem einen Ende festwachsen, während sich am anderen, freien, der Mund öffnet, um welchen allmälich ein Kranz von Tentakeln hervorwächst.

3. In diesem polypenartigen Zustande, welchen wir mit Fug einen Larvenzustand nennen, pflanzen sie sich schon fort,

Diese (Fig. 47., 48.), welche der Larve nicht gleichen, sind freie, umherschwimmende, scheibenförmige Geschöpfe, deren Peripherie in 8, am Ende zweitheilige, Strahlen getheilt ist, und welche einen viereckig-röhrenförmigen, niederhangenden Mund haben u. s. w. Allmälich, so wie sie heranwachsen, werden die Strahlen kürzer, die Räume zwischen ihnen, an welchen die Randtentakeln hervorzuwachsen beginnen, werden gröfser, der Mund theilt sich und wird zu 4 Mundarmen; kurz, diese Thiere werden völlig der ursprünglichen Mutter (der Medusa oder der Cyanea) gleich.

Es ist demnach nicht die Larve oder das aus dem Ei entwickelte Individuum, welches sich in eine vollkommene Akalephe verwandelt, sondern es ist ihre durch Quertheilung entstandene Brut. Ich weifs unter den bekannten Thatsachen mit keiner diese Entwickelungsart besser zu vergleichen, als mit der der Salpen, obgleich diese vielfach von jener abweicht. — Meine im vergangenen Herbste angestellten zahlreichen

*) Ich kann hier nicht unbemerkt lassen, wie selten es ist, die Meduse in der See in ihrem Larvenzustande anzutreffen. Diese Seltenheit liefs mich anfangs zweifeln, ob die eben erwähnten polypenartigen Jungen der so gemeinen *Medusa aurita* angehörten. Vielleicht befestigen und entwickeln sich die infusorienartigen jungen Medusen in der See eigentlich in gröfseren Tiefen. —

29

Beobachtungen (welche ich bei einer anderen Gelegenheit mittheilen werde) über die Salpen haben mir nämlich den Beweis geliefert, dafs Chamisso (welcher von mehren Naturforschern so üble Worte über seine redlichen Beobachtungen hören mufste, weil diese nicht in ihre Systeme pafsten) doch im Wesentlichen ihre Entwickelung richtig beobachtet hat. Die Salpen kommen darin mit den Akalephen überein, dafs bei ihnen nicht die Larve, sondern deren Brut sich zu dem vollkommenen Thiere entwickelt; es ist nicht das Individuum, sondern es ist die Generation, welche sich metamorphosirt.

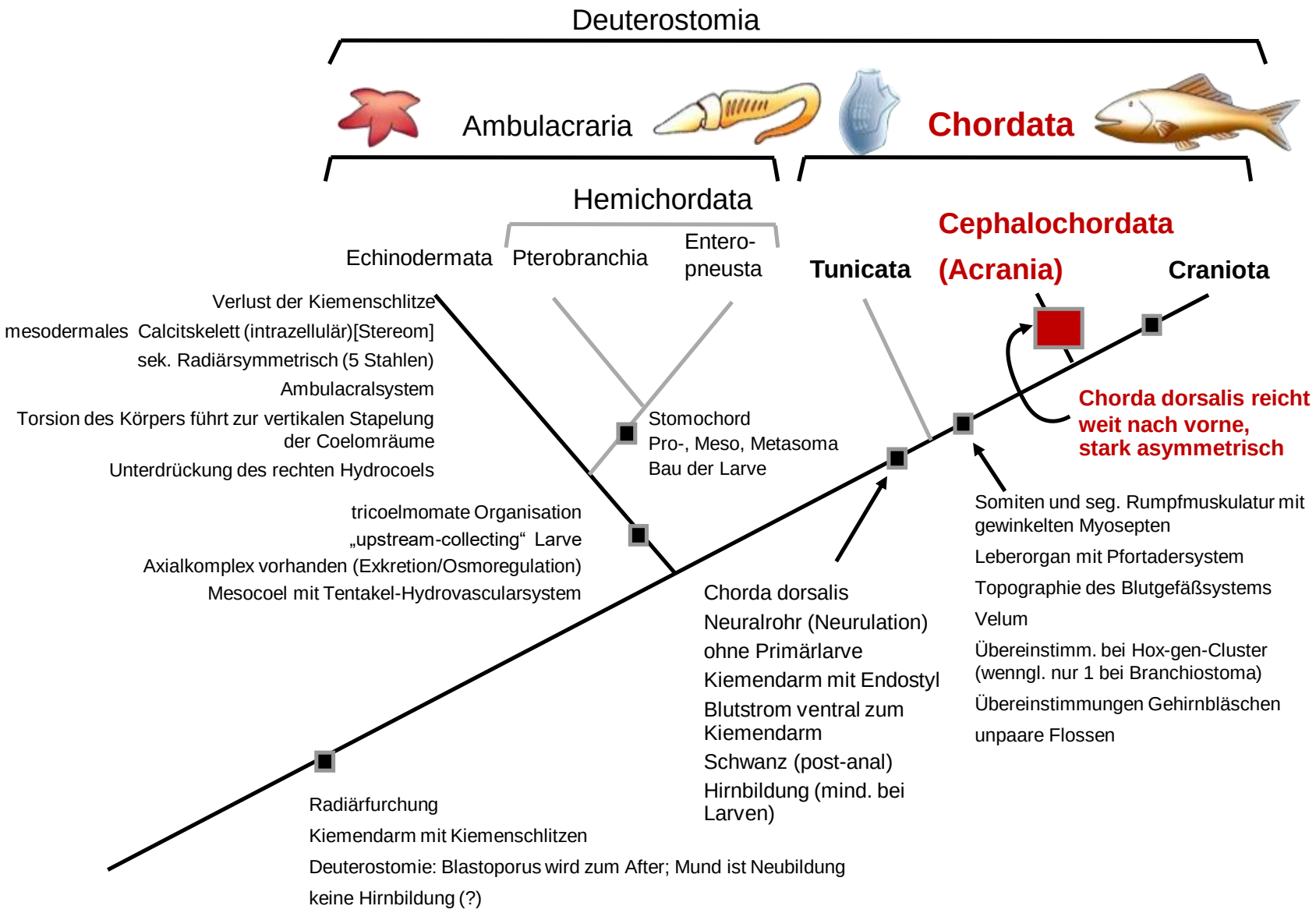
Isis (1838) kenne,*) zum Theil zur Bestätigung einiger meiner Beobachtungen dienen können. Seine *Hydra Tuba* scheint die von mir beschriebene polypenartige Akalephenlarve zu sein, an welcher er auch die Knospen beobachtete; ebenfalls sah er die Quertheilung, durch welche die gestrahlten Akalephen (Strobila) entstehen. Von diesen letzteren bildet er eine mit 11 und eine mit 8 Strahlen ab (Isis 1838, Tab. I., Fig. 3., 2.) (ich fand 4—12, aber bei den meisten, also normal, 8 Strahlen, a. a. O. S. 20); die viereckige Säule (Fig. 2. in der Isis), von welcher Dalyell unrichtig angiebt, dafs sie sich auf der convexen Seite hervorhebe,**) ist der herabhangende Mund, an dessen Basis 4 Organe von ihm erwähnt werden (die Fal-

*) Die „ferneren Beobachtungen" von Dalyell über die Fortpfl. d. schott. Zoophyten stehen ganz übersetzt, wenn ich nicht irre, in Froriep's Notizen Bd. L. Nr. 6., und die früheren desselben Schriftstellers ebendas. Bd. XLII. Nr. 18., diese jedoch nur in kurzem Auszuge. In der Isis, J. 1838, stehen beide Abhandlungen, die erstere aus dem Edinb. Journ. Bd. XVII., die andere aus Bd. XXI. im Auszuge, S. 48—54. Anm. d. Uebers.

**) Er hat vermuthlich seine Zeichnung entworfen, als die kleine Akalephe, nachdem sie eine Weile umhergeschwommen war, sich langsam, gleichsam schwebend, zu Boden sinken liefs; dann freilich wird die convexe Fläche concav, und umgekehrt.

„Meine … Beobachtungen über die Salpen haben den Beweis geliefert, dass Chamisso … doch im wesentlichen ihre Entwicklung richtig beobachtet hat."

System der Deuterostomia („Neumünder")



Cephalochordata (Acrania)

- ***Branchiostoma lanceolatum***

halbsessile Strudler,
flache Sande Meeresküsten

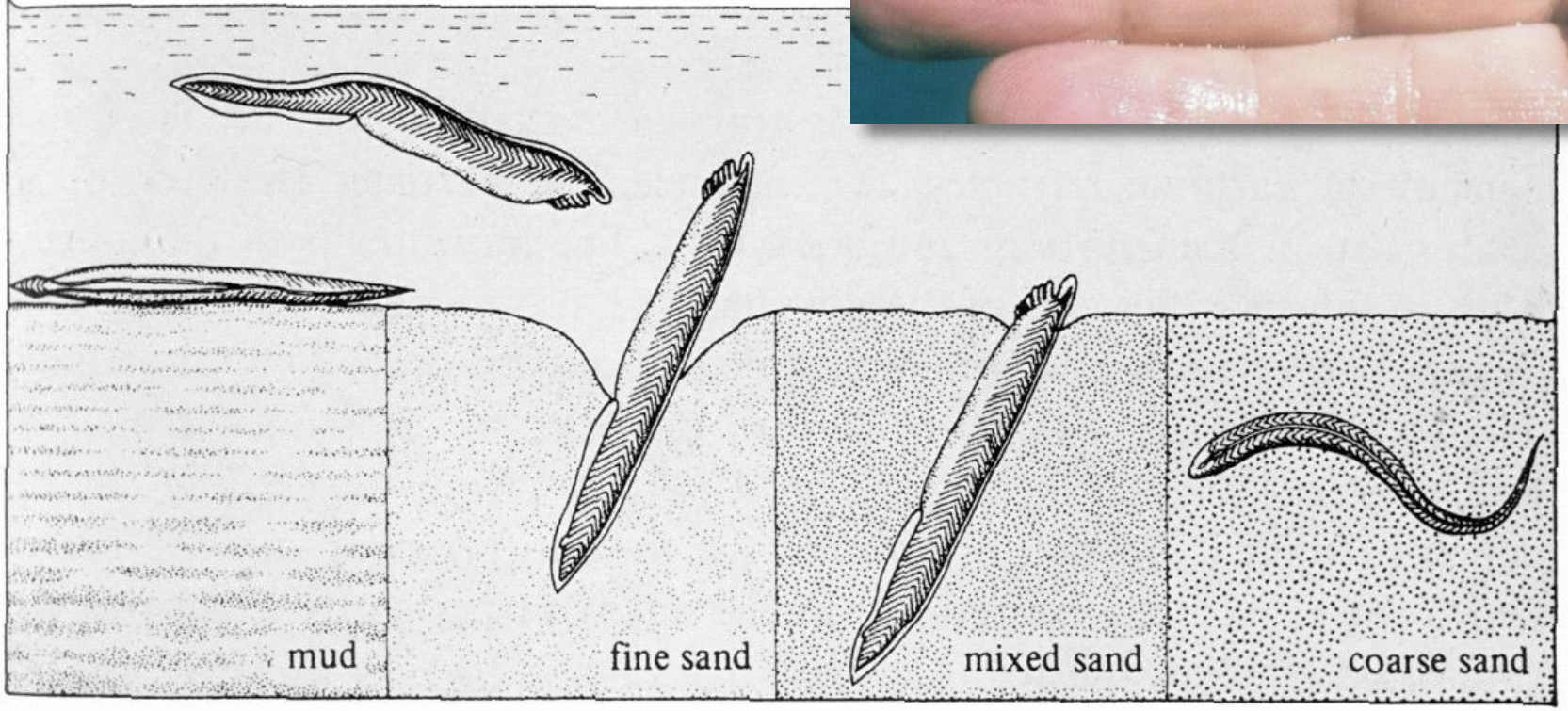
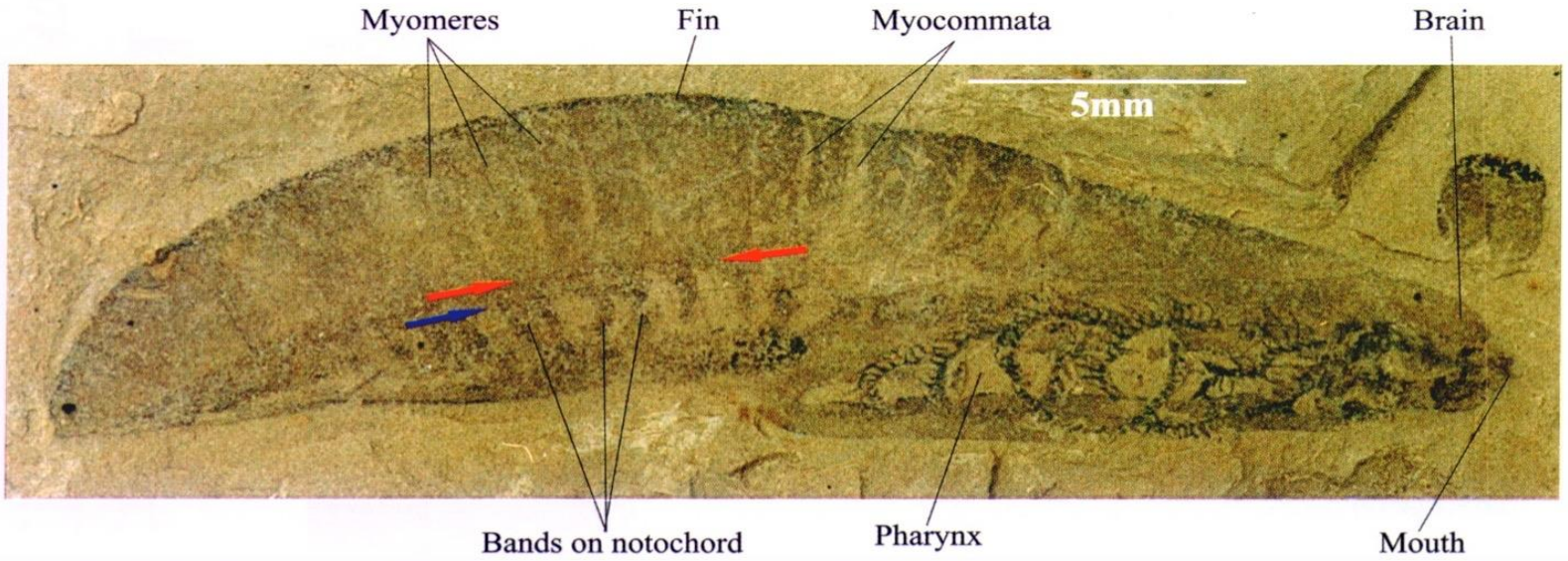


Fig. 2-5. Amphioxus on mud, and in several grades of sand. Further explanation is given in the text. From J. E. Webb & M. B. Hill (1958). *Phil. Trans. Roy. Soc. Ser. B,* **241**, 355–91.

Cephalochordata

- **Ein früher Chordat:** ***Haikouella***

Chengjiang Lagerstätte, Unteres Kambrium (vor ca. 530 Mio Jahren !)



Mallatt & Chen 2004

Fig. 8. *Haikouella* specimen EC00258a, entire animal showing the fusiform body shape and musculoskeletal structures. Note the fin dorsally, myomeres on the tall trunk, myocommata, and the notochord. The bands on the notochord are distinct from, and out of register with, the overlying myomeres. Also note that the notochordal bands extend above the sheath of the notochord (that is, above the blue arrow) to a line indicated by the red arrows. Thus, these bands must lie just external to the notochord, like vertebrae with vertebral arches.

Cephalochordata

- ***Haikouella* / *Branchiostoma* – Gegenüberstellung**

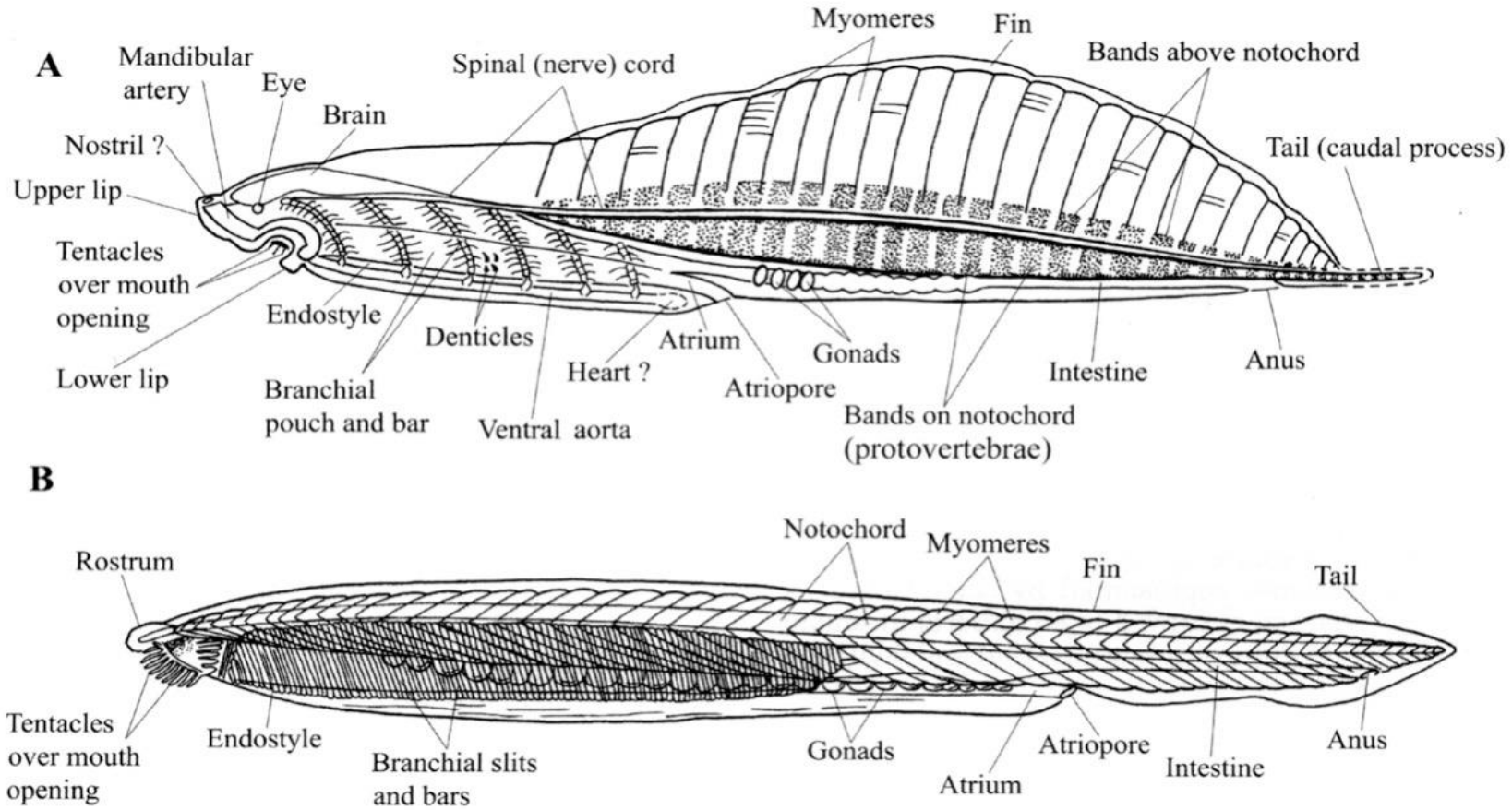
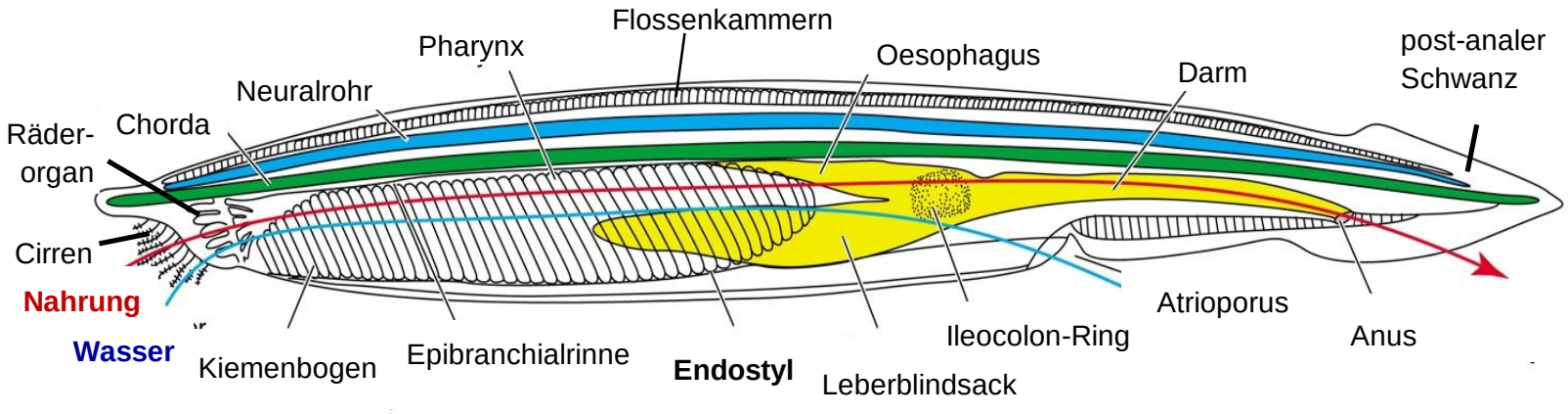


Fig. 1. *Haikouella* reconstructed (**A**), and compared to an extant cephalochordate, or lancelet (**B**). Part (**A**) is an updated and corrected version of figure 1 in Chen et al. (1999); Part (**B**) was redrawn from figure 1 in Ruppert (1997a).

Mallatt & Chen 2004

Cephalochordata

- ***Branchiostoma lanceolatum***



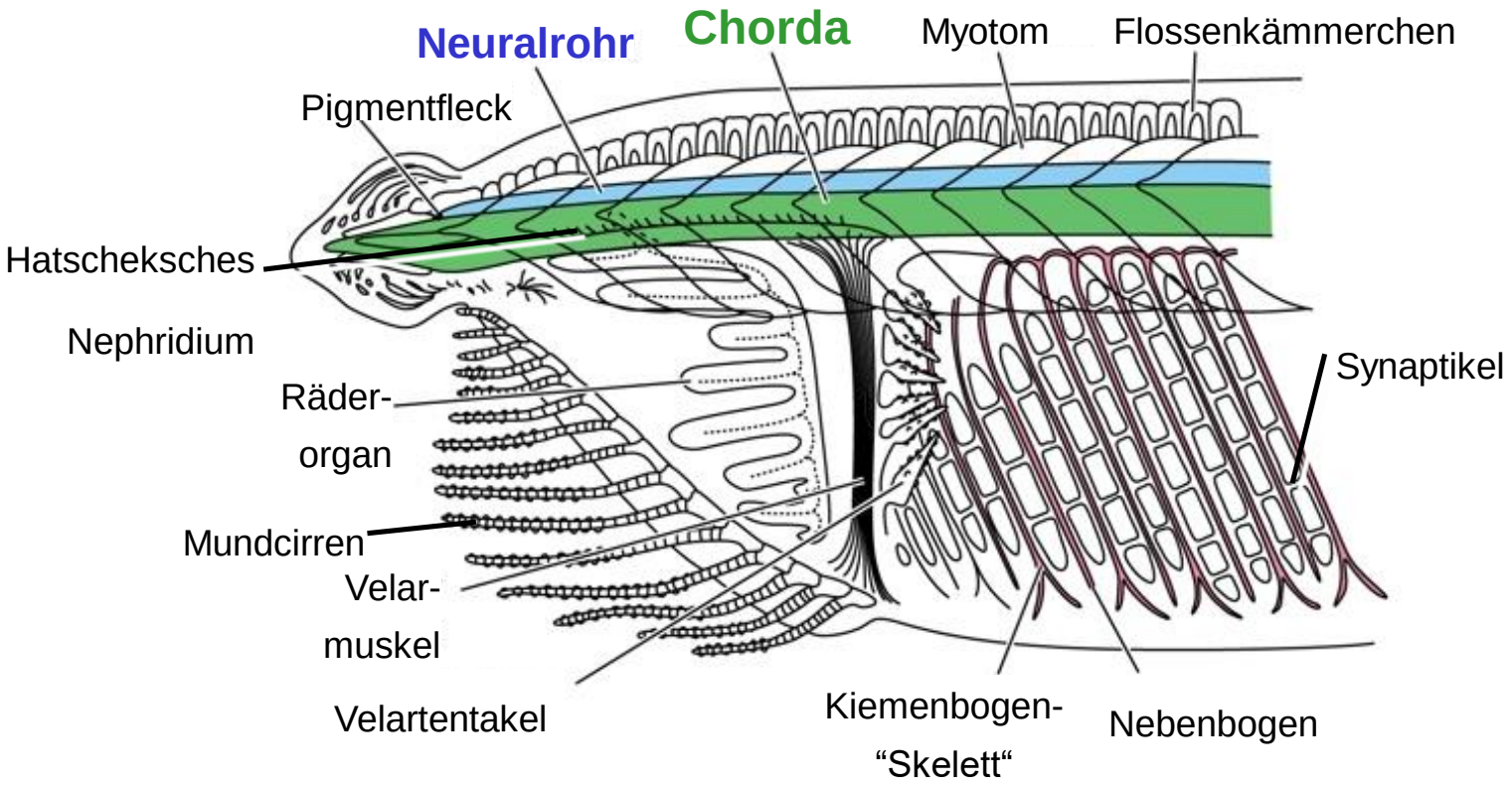
- **Kiemendarm als Filtrierapparat (= Kiemenkorb Tunicata!) – adaptives Merkmal Strudler**
- **Endostyl (Hypobranchialrinne): Schleimproduktion und Nahrungstransport**

  (= homolog der endokrinen Schilddrüse / Vertebrata)

(modifiziert aus Liem et al. Functional Anatomy of Vertebrates)

Chordata – Tiere mit einer Rückensaite

- **Chorda dorsalis – dauerhaft / embryonal-larvales Achselskelett**

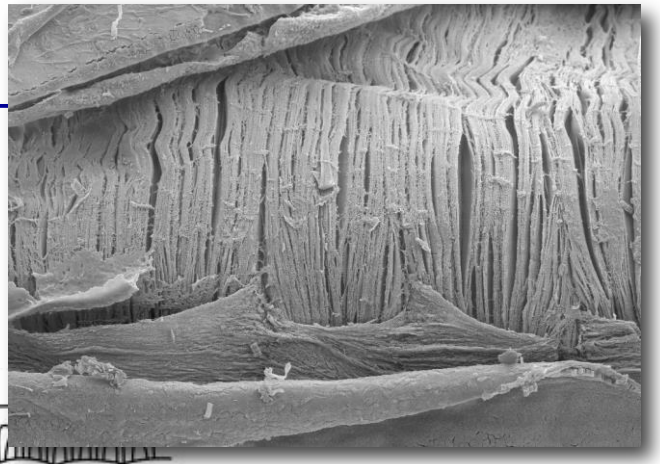


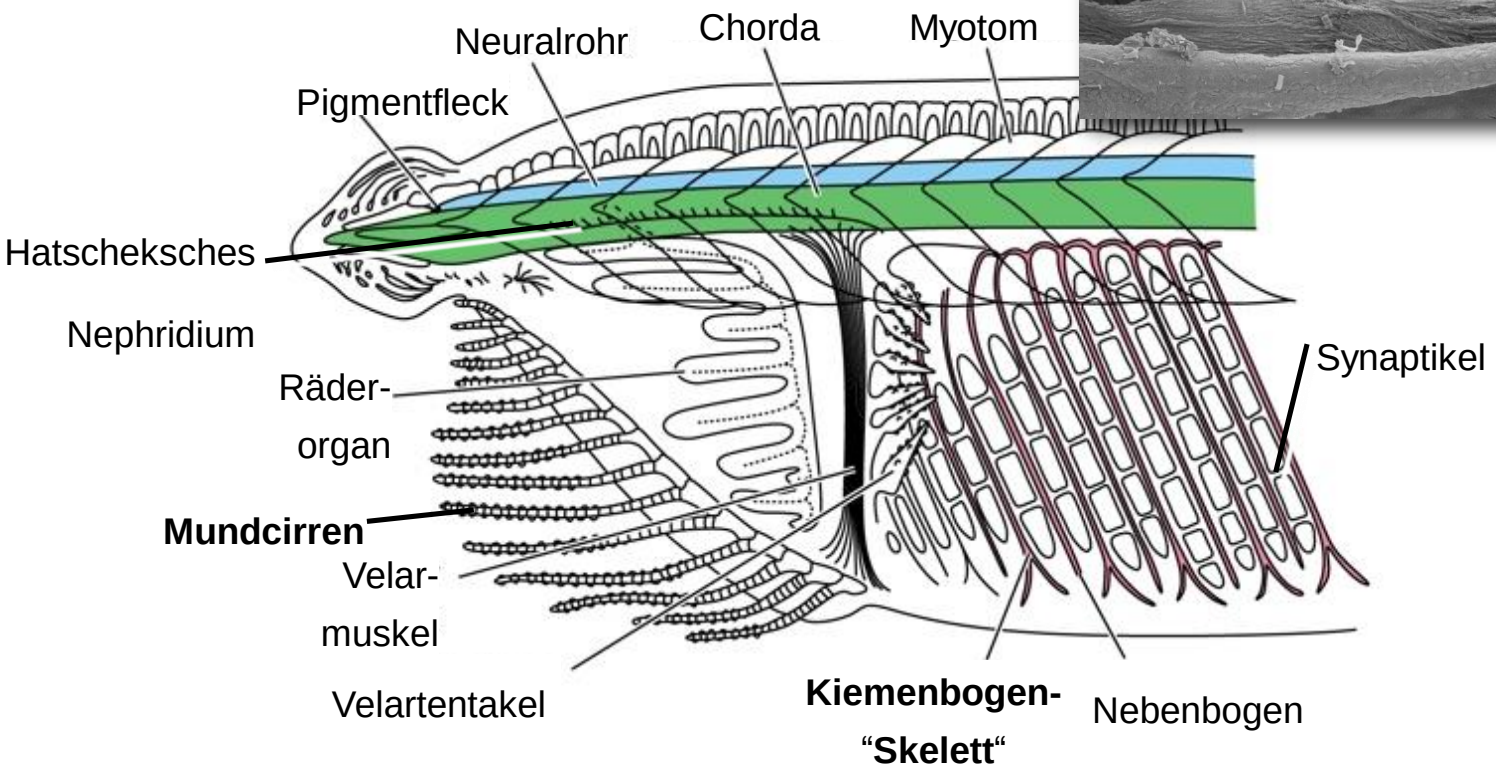
- **Vorderdarm von Kiemenspalten durchbrochen (bei Amnioten: Eustachsche Röhre!)**

(modifiziert aus Liem et al. Functional Anatomy of Vertebrates)

Cephalochordata

- **Kiemendarm**

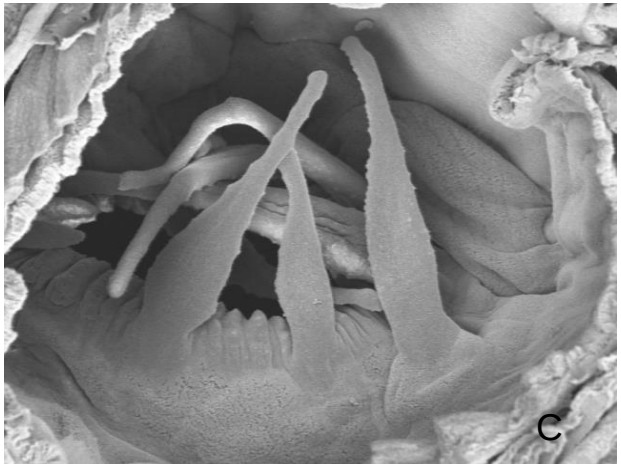


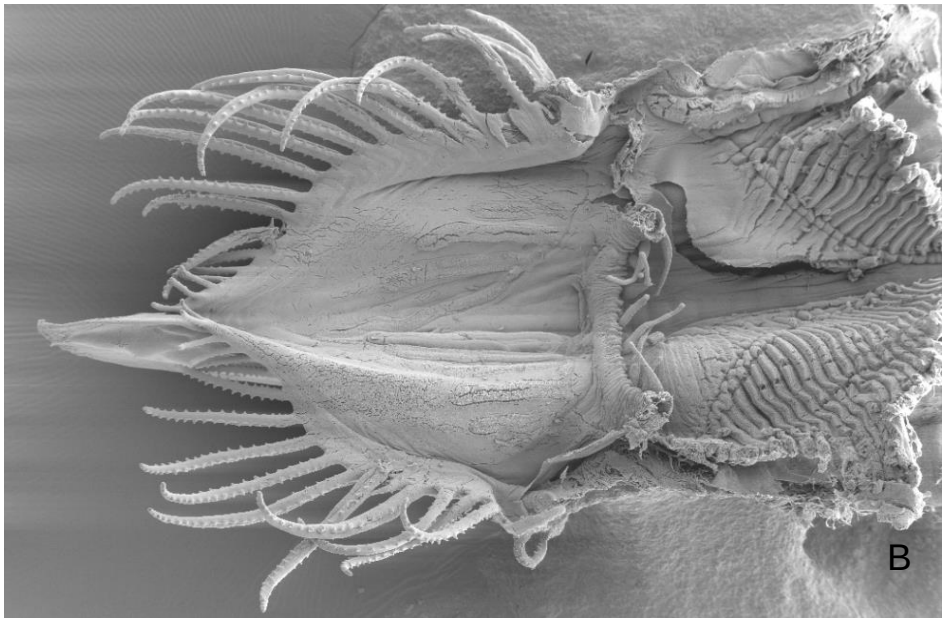


(modifiziert aus Liem et al. Functional Anatomy of Vertebrates)

Cephalochordata

- ***Branchiostoma lanceolatum***



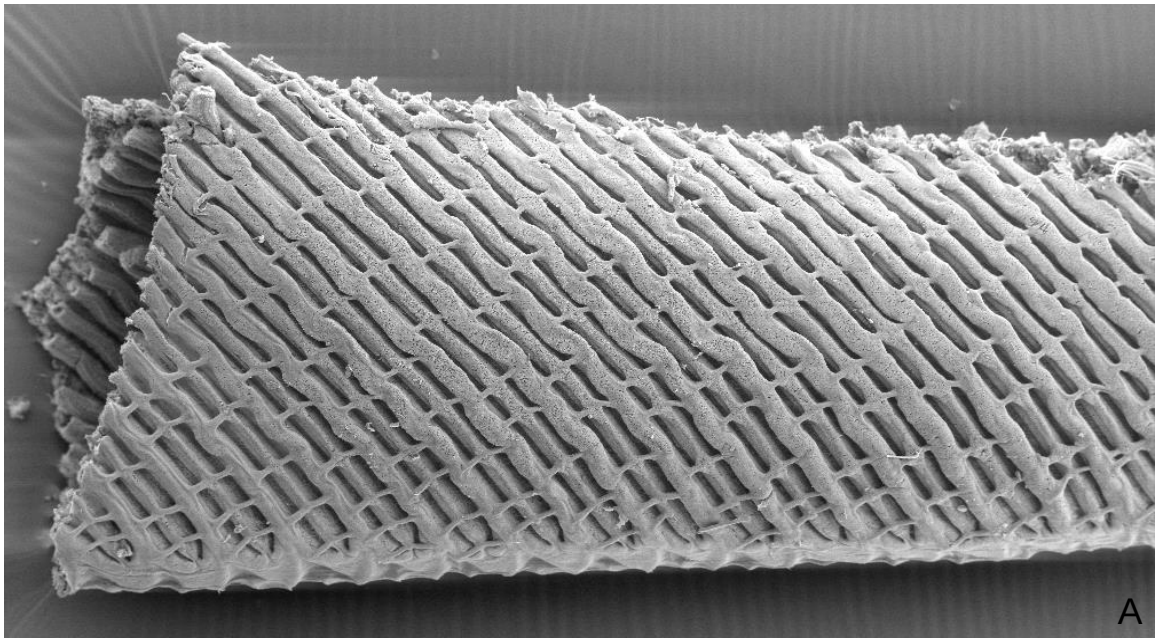


A - Vorderende von außen;
B - Vorderende von innen, nach dorsal;
C - Velum, Blick nach rostral

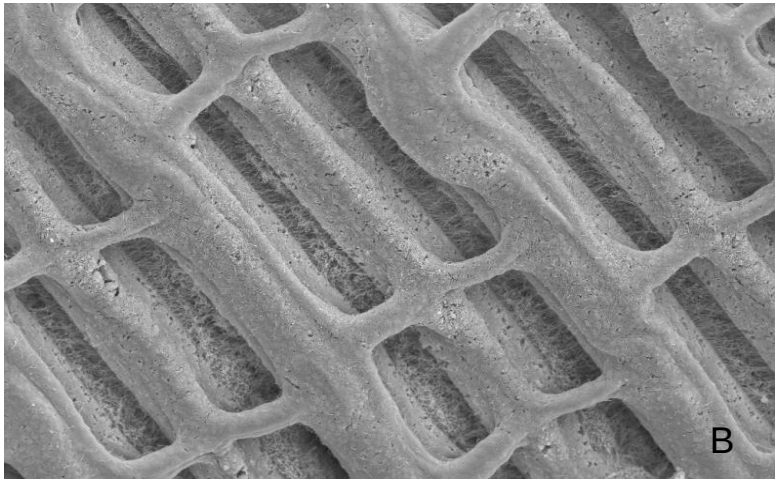
Die EM-Bilder von *Branchiostoma lanceolatum* wurden im Aufbaukurs von Prof. E. Zeiske, im WS 03 gemacht und den nachfolgenden Generationen von Studenten durch Herrn E. Kludt zur Verfügung gestellt.

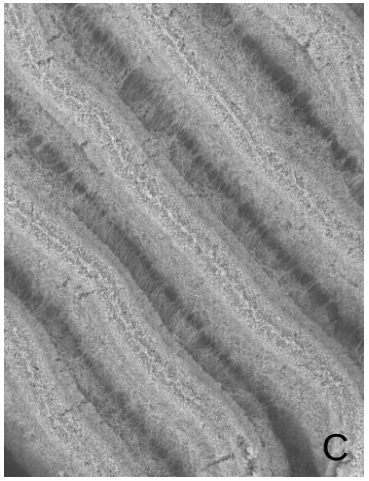
Cephalochordata

- ***Branchiostoma,* Kiemendarm**



A - Außenansicht des Kiemendarms;



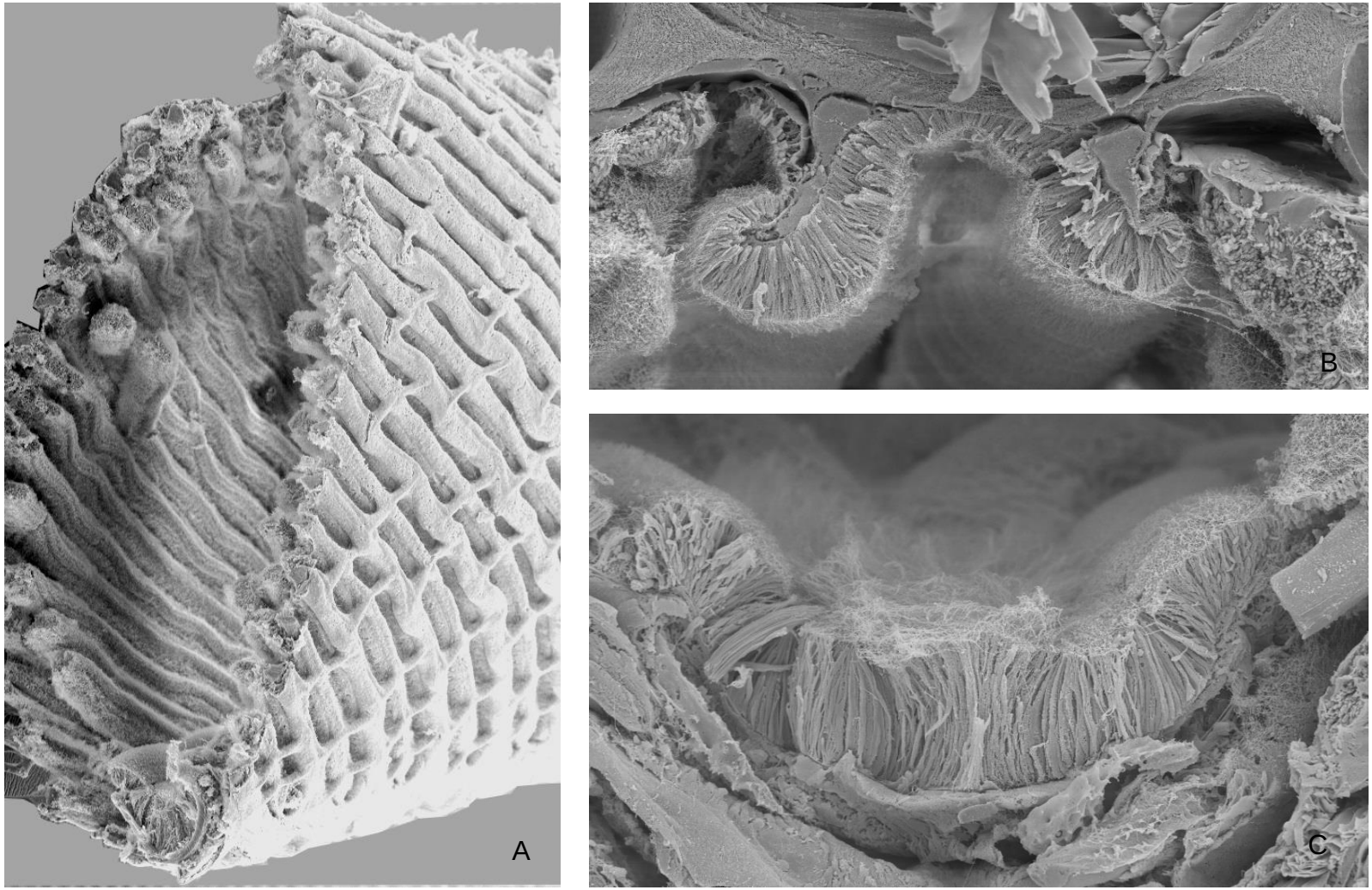


B - Ausschnittvergrößerung von A;

C - Innenansicht einiger Kiemenbögen;

Cephalochordata

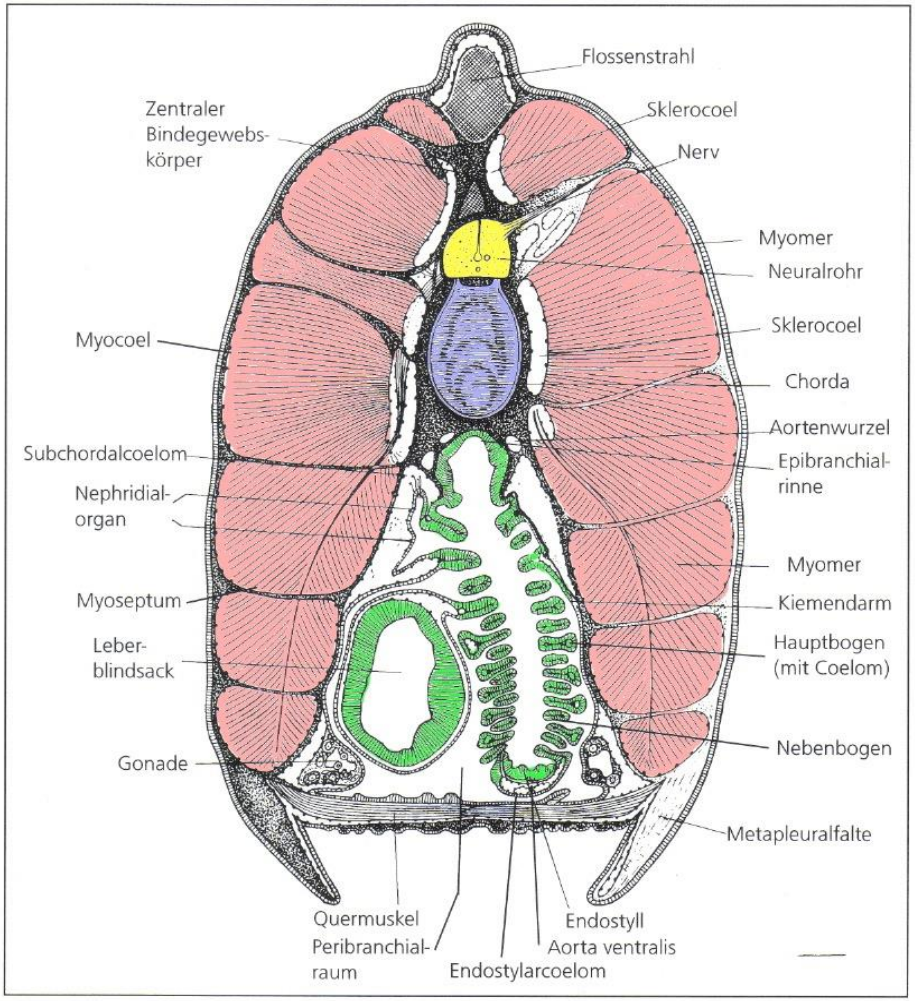
- ***Branchiostoma,* Kiemendarm**



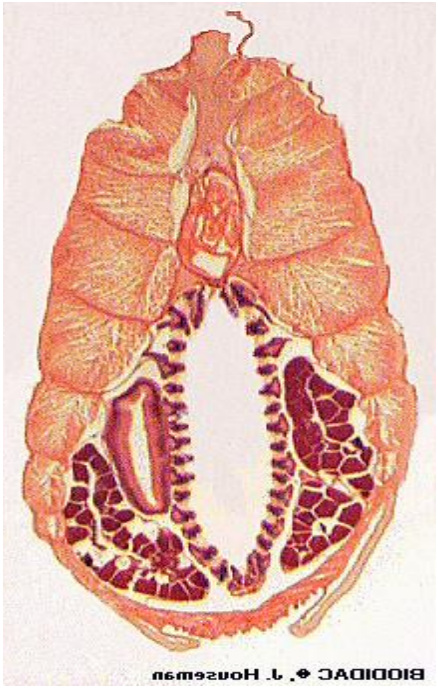
A = Seitenansicht, B = Epi-, C = Hypobranchialrinne

Cephalochordata

- **Branchiostoma, Querschnitt**



(Storch / Welsch: Kükenthals Zoologisches Praktikum)

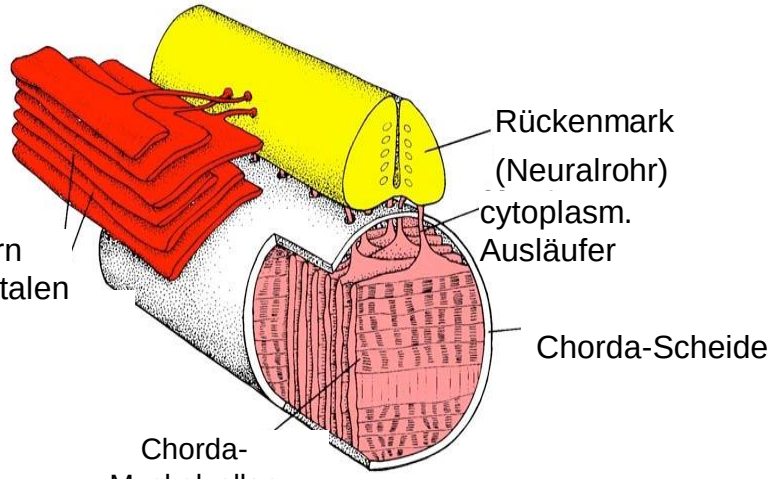


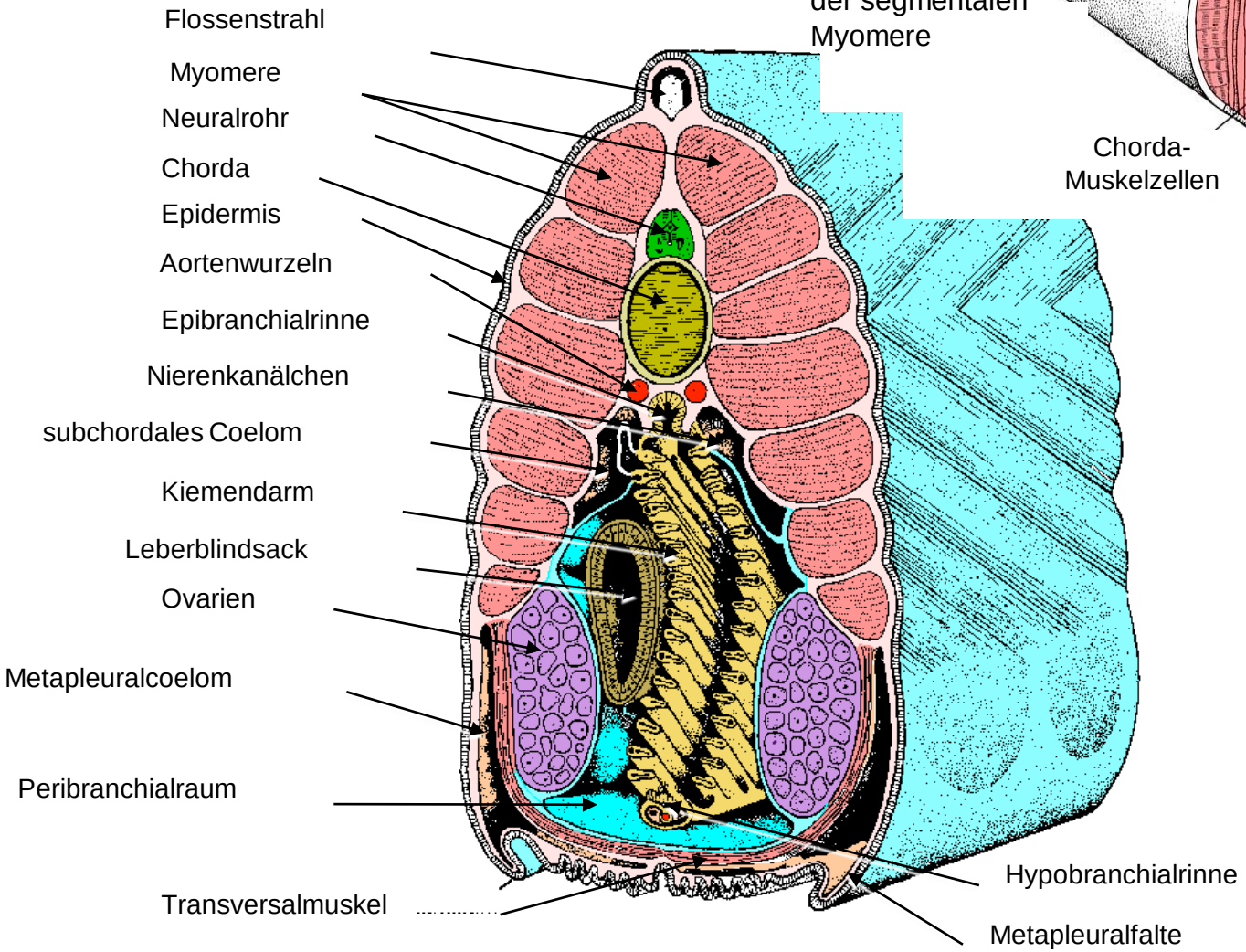
- **Homologie zu Wirbeltieren:**

  Segmentierung der Muskulatur

Cephalochordata

- **Muskulatur**

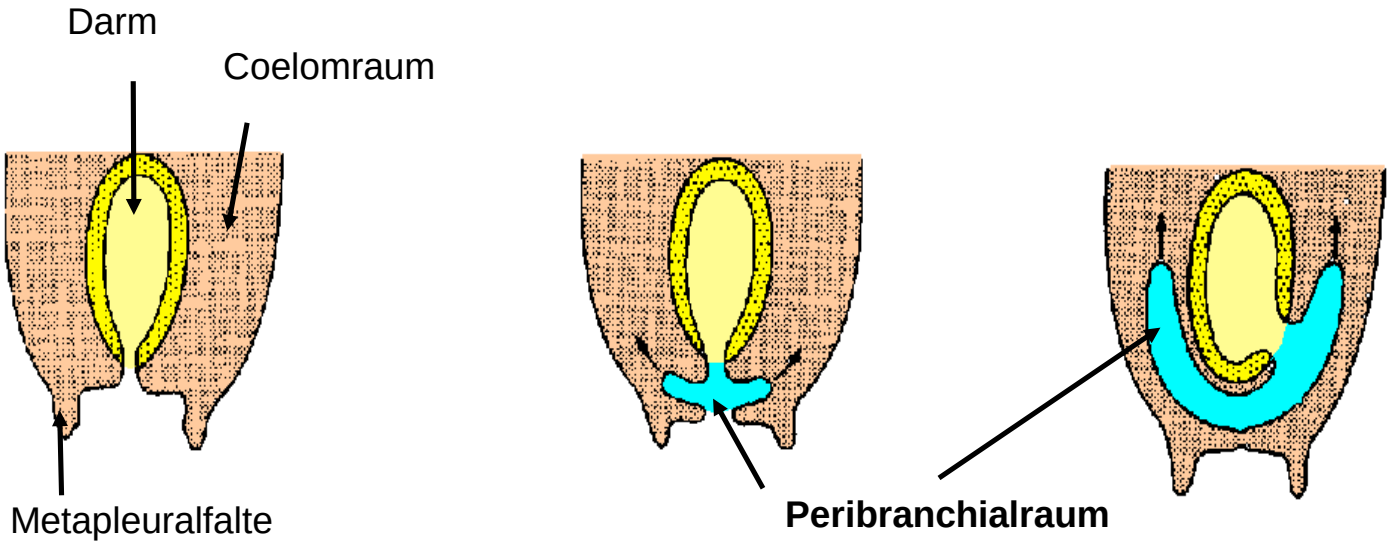




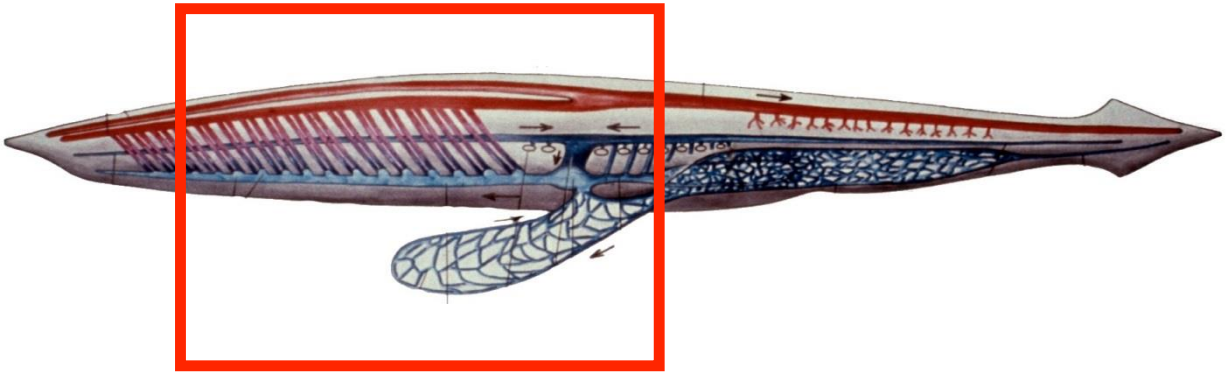
Cephalochordata

- **Peribranchialraum**

Die Entstehung des Peribranchialraums als
Einstülpung des Ektoderms in den Coelomraum hinein



Cephalochordata



- ***Branchiostoma,***

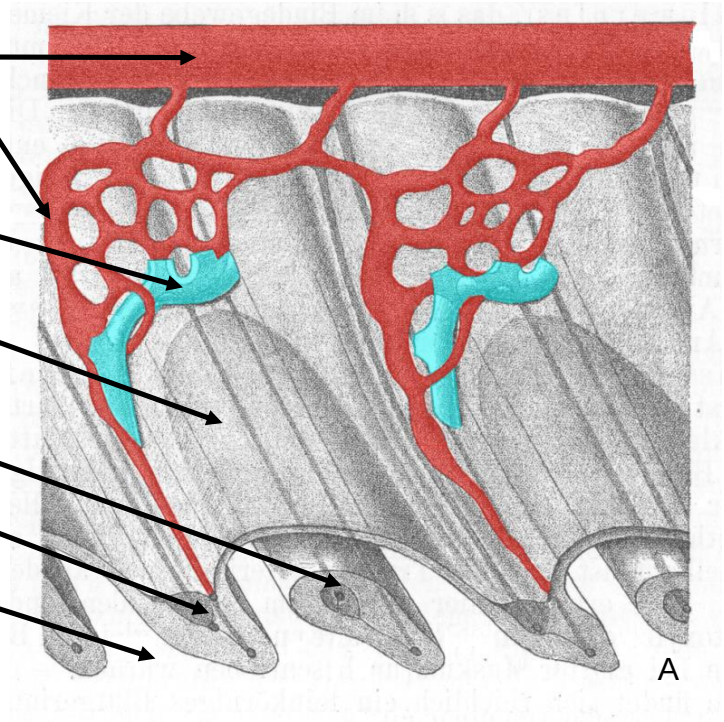
  Blutgefäßsystem

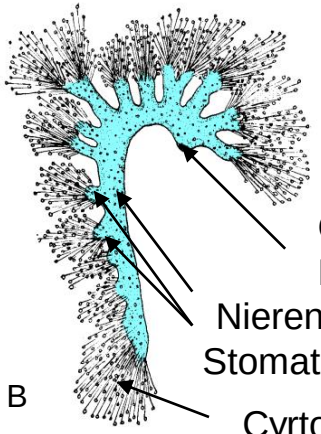
Kapillarnetz der Kopfregion
paarige Aorta dorsalis (Aortenwurzeln)
Kapillarnetz der Körpermuskulatur
unpaare Aorta dorsalis
Vena cardinalis anterior
Arteria branchialis
Darm
Aorta ventralis
Vena cardinalis posterior
Ductus Cuvieri
Vena hepatica
Kapillarnetz des Darms
Vena subintestinalis
Leberblindsack
Sinus venosus
Vena portae
Kapillarnetz des Leberblindsackes

- **Im Vergleich zu Wirbeltieren: fehlt zentrales Herz (Bulbulli = Kiemenherzen!) & Blutkörperchen**

Cephalochordata

- ***Branchiostoma,* Exkretionssystem (ohne Entsprechung Vertebrata)**



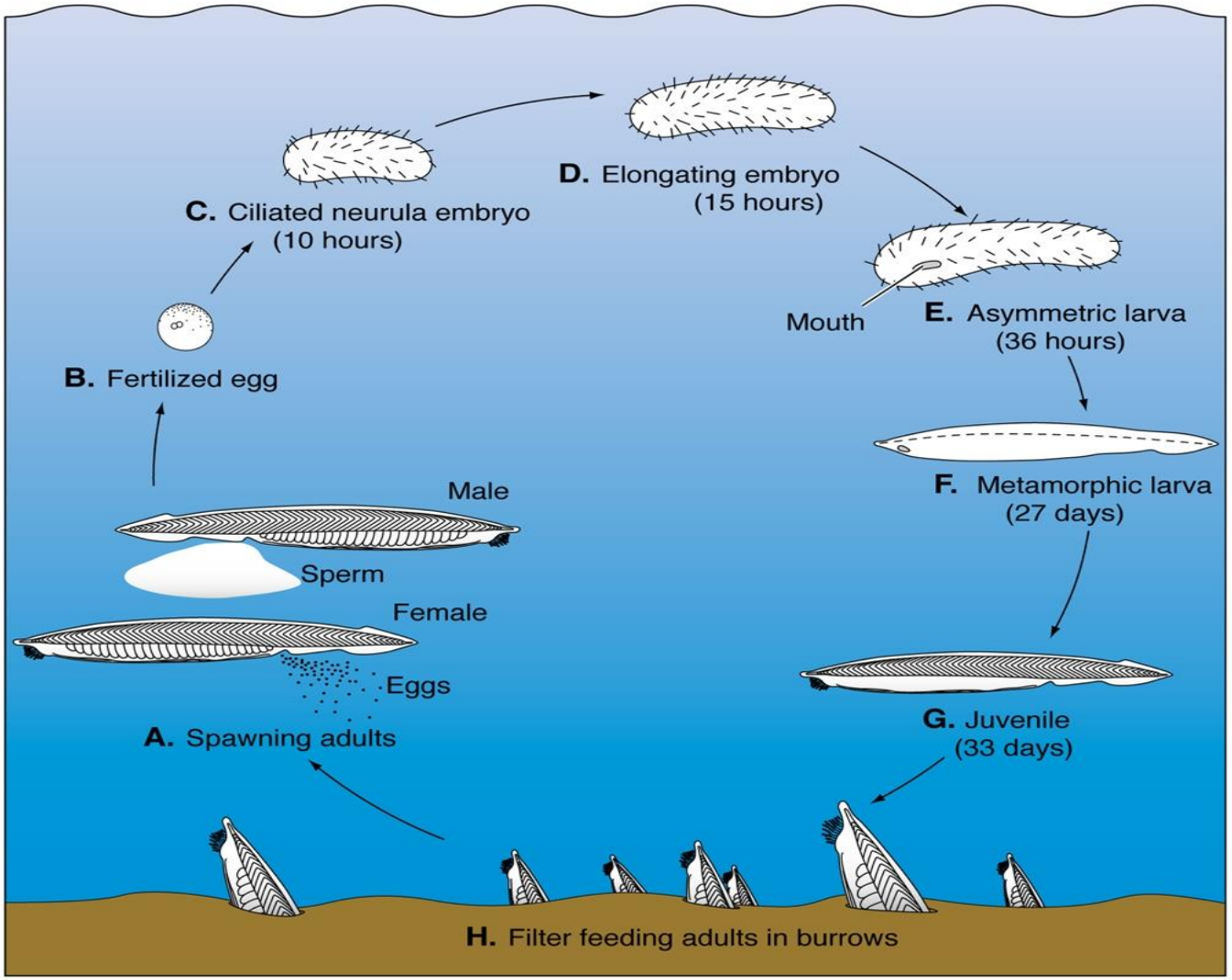


A) Lagebeziehung zwischen Kiemenbögen Blutgefäß- und Exkretionssystem

B) Nierenkanälchen mit aufsitzenden Cyrtopodocyten

Cephalochordata

- **Fortpflanzung**

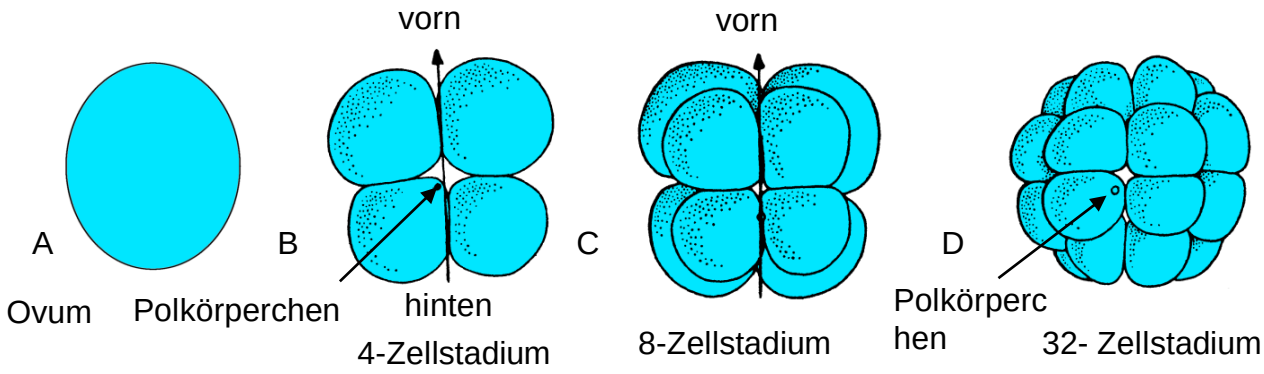


(aus Liem et al. Functional Anatomy of Vertebrates)

Cephalochordata

- **Fortpflanzung und Entwicklung**

Blastulabildung und Gastrulation, *Branchiostoma lanceolatum*



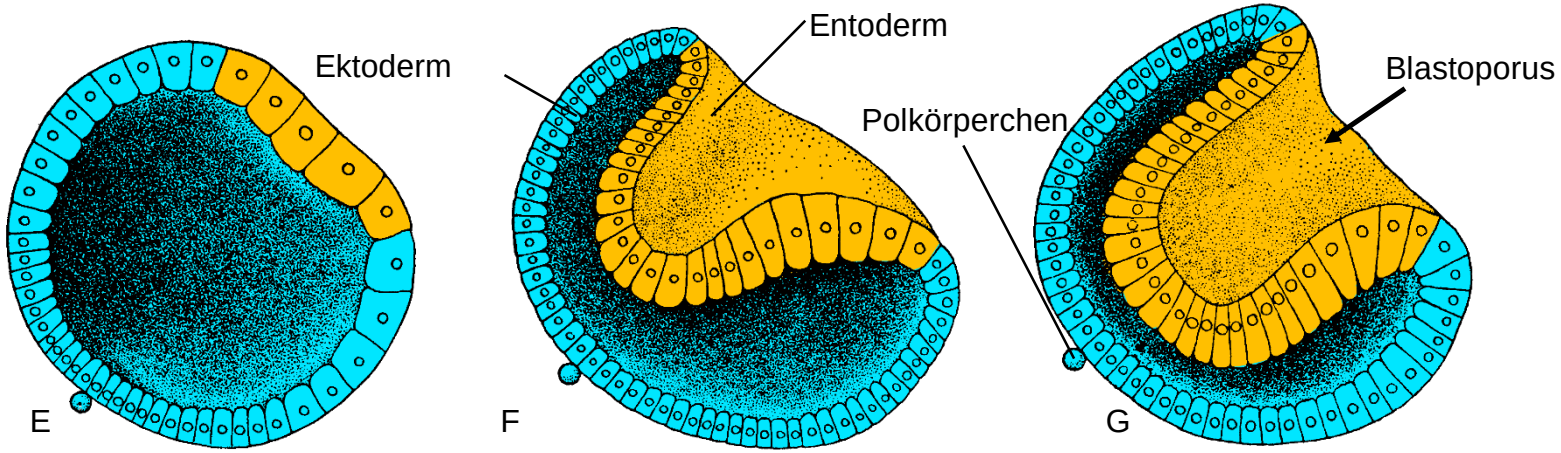
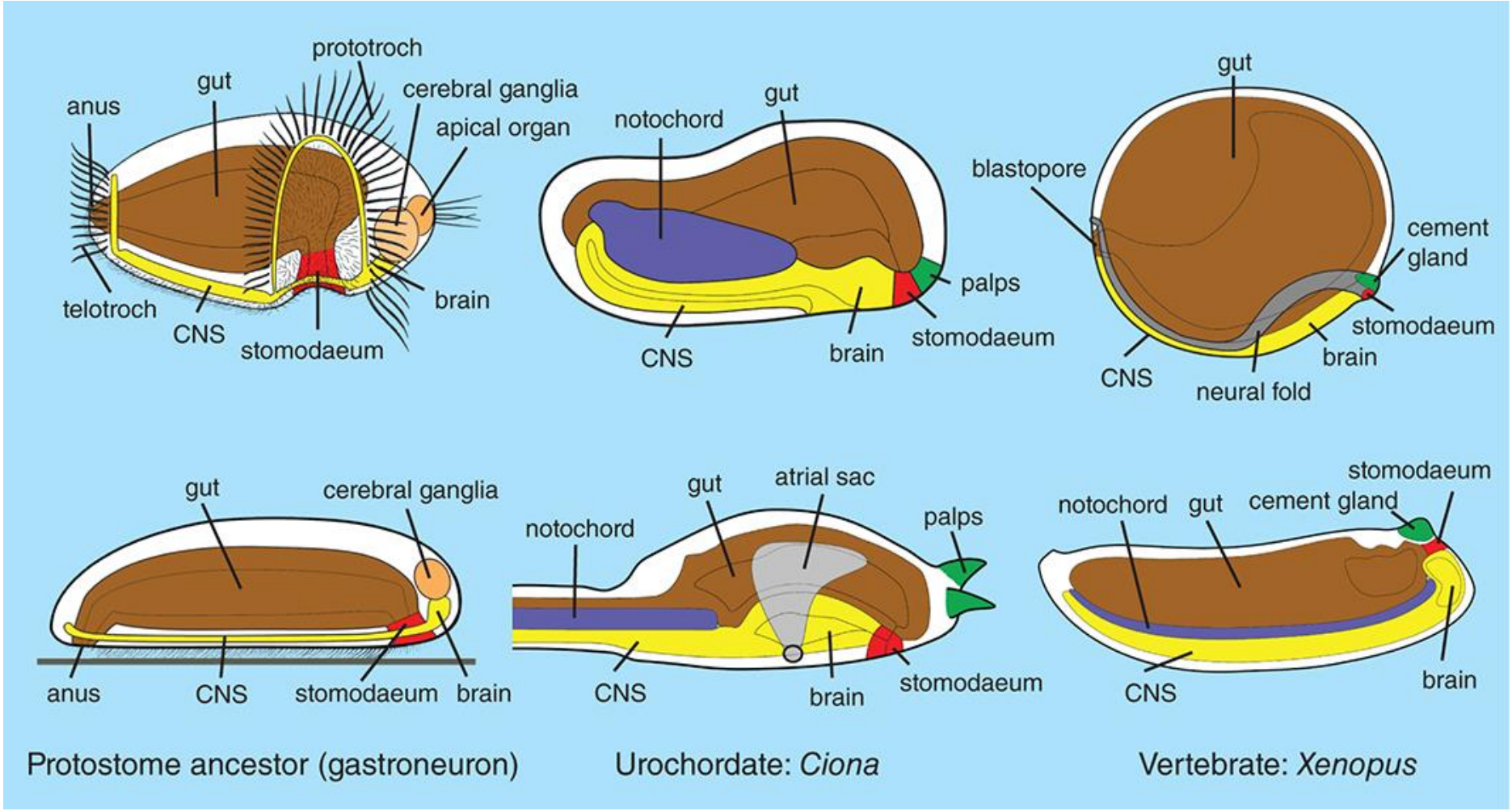


Abb. A-D vom animalen Pol gesehen; Abb. E-G stellen Medainschnitte durch die Gastrula dar.

Deuterostomie

- **Evolution der Chordata**



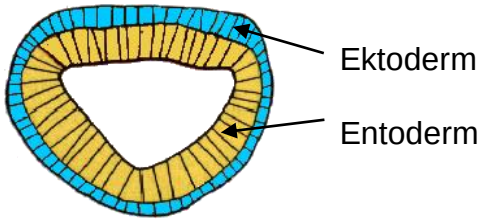
Claus Nielsen – Biol. Review 2015

Cephalochordata

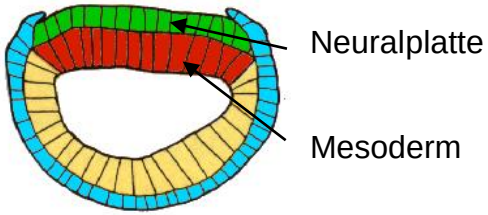
- **Fortpflanzung und Entwicklung**

Bildung und Differenzierung des Mesoderms bei *Branchiostoma lanceolatum*

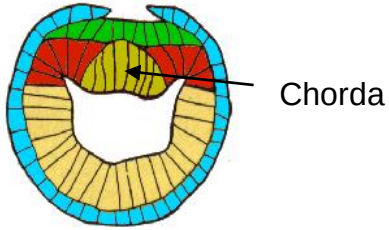
A Querschnitt durch die zweischichtige Gastrula



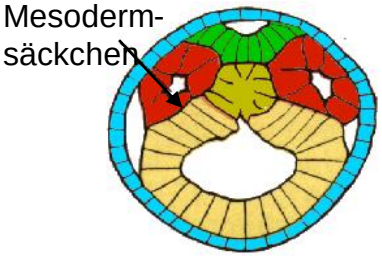
B Überwachsung der Neuralplatte durch das Ektoderm



C Abgliederung der Chorda

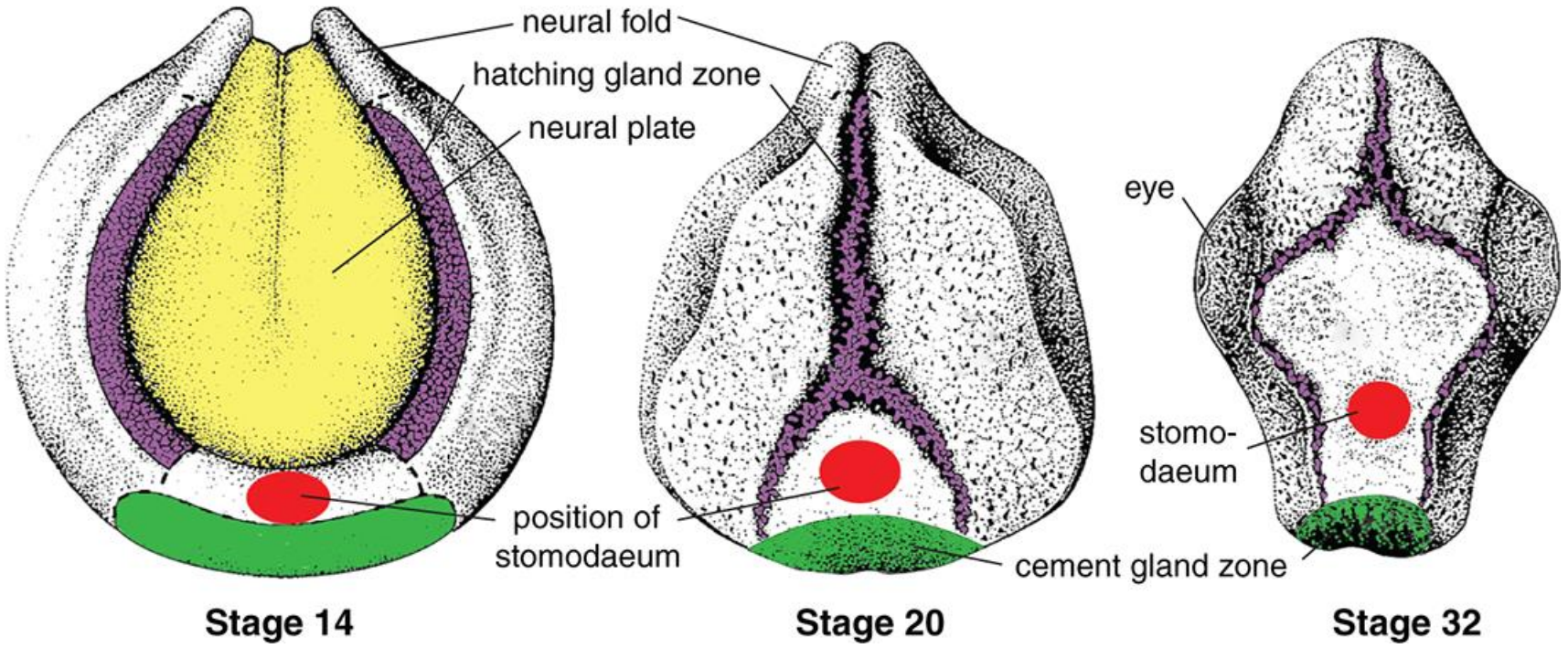


D Einrollen des Mesoderms und der Neuralplatte



Deuterostomie

- **Evolution der Chordata**



Claus Nielsen – Biol. Review 2015

Cephalochordata

- **Fortpflanzung und Entwicklung**

Coelom *Branchiostoma* & Enterocoelie

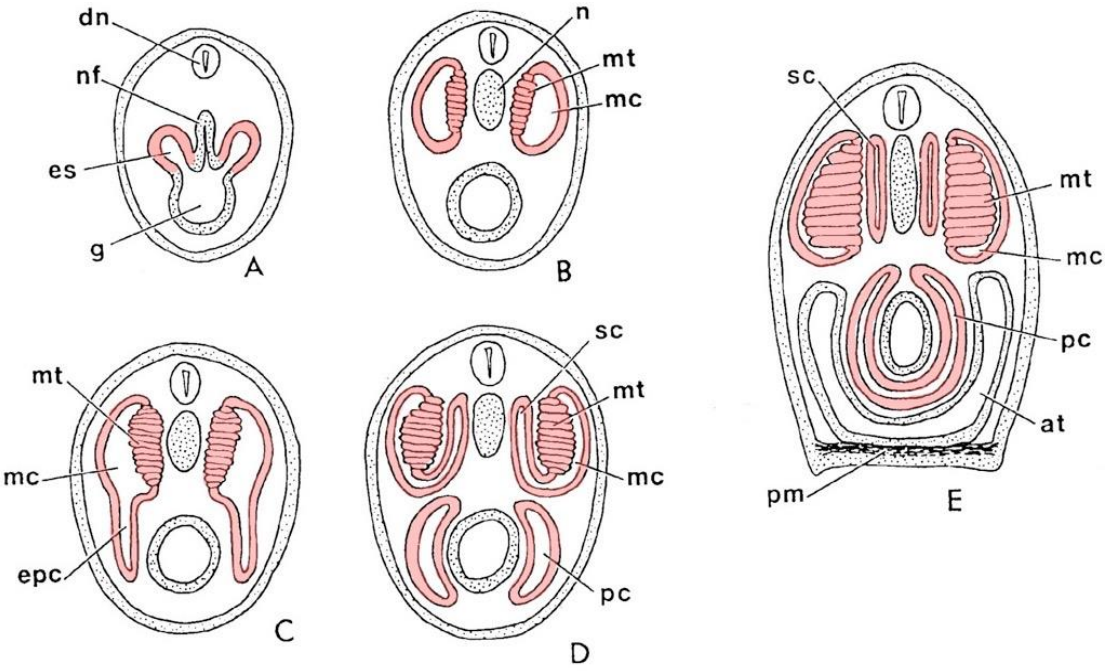
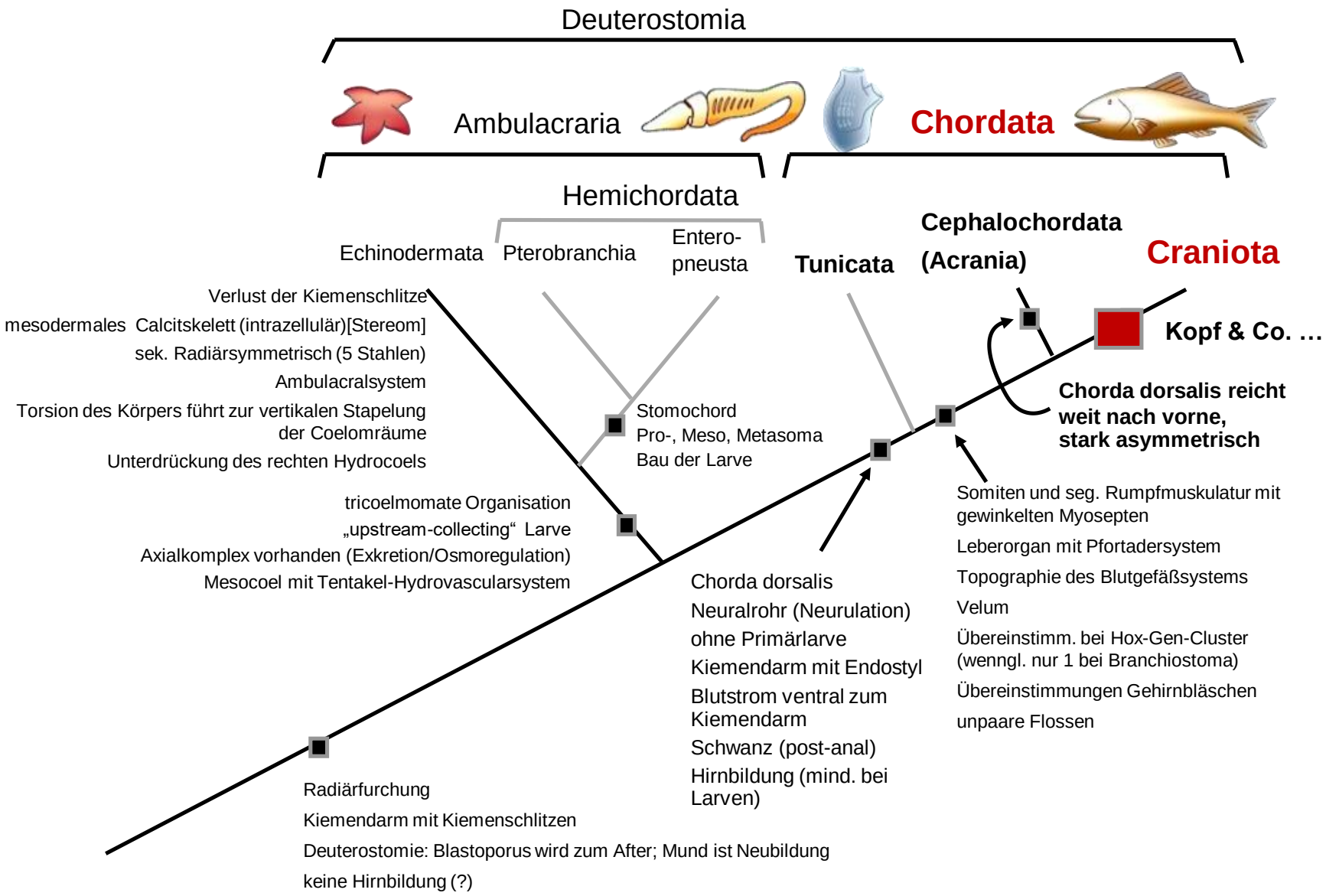


Fig. 2. Diagrammatic cross-sections of developmental stages of amphioxus showing majo muscles and the relationships between major coeloms. Developmental times given are fo *Branchiostoma floridae* raised at 25 °C. **A.** Early embryo (13 hr). **B.** Mid-embryo (18 hr). **C.** Lat embryo (26 hr). **D.** Larva (2 da). **E.** Post-metamorphic juvenile (6 weeks). at, atrial cavity (a ectodermal invagination that is unrelated to the heart); dn, dorsal nerve cord; es, evaginatin somite; epc, evaginating perivisceral coelom; g, gut; mc, myocoel; mt, myotome; no, notochord pc, perivisceral coelom; pm, pterygeal muscles; sc, sclerocoel. Reprinted with permission fron L.Z. Holland et al. (1995).

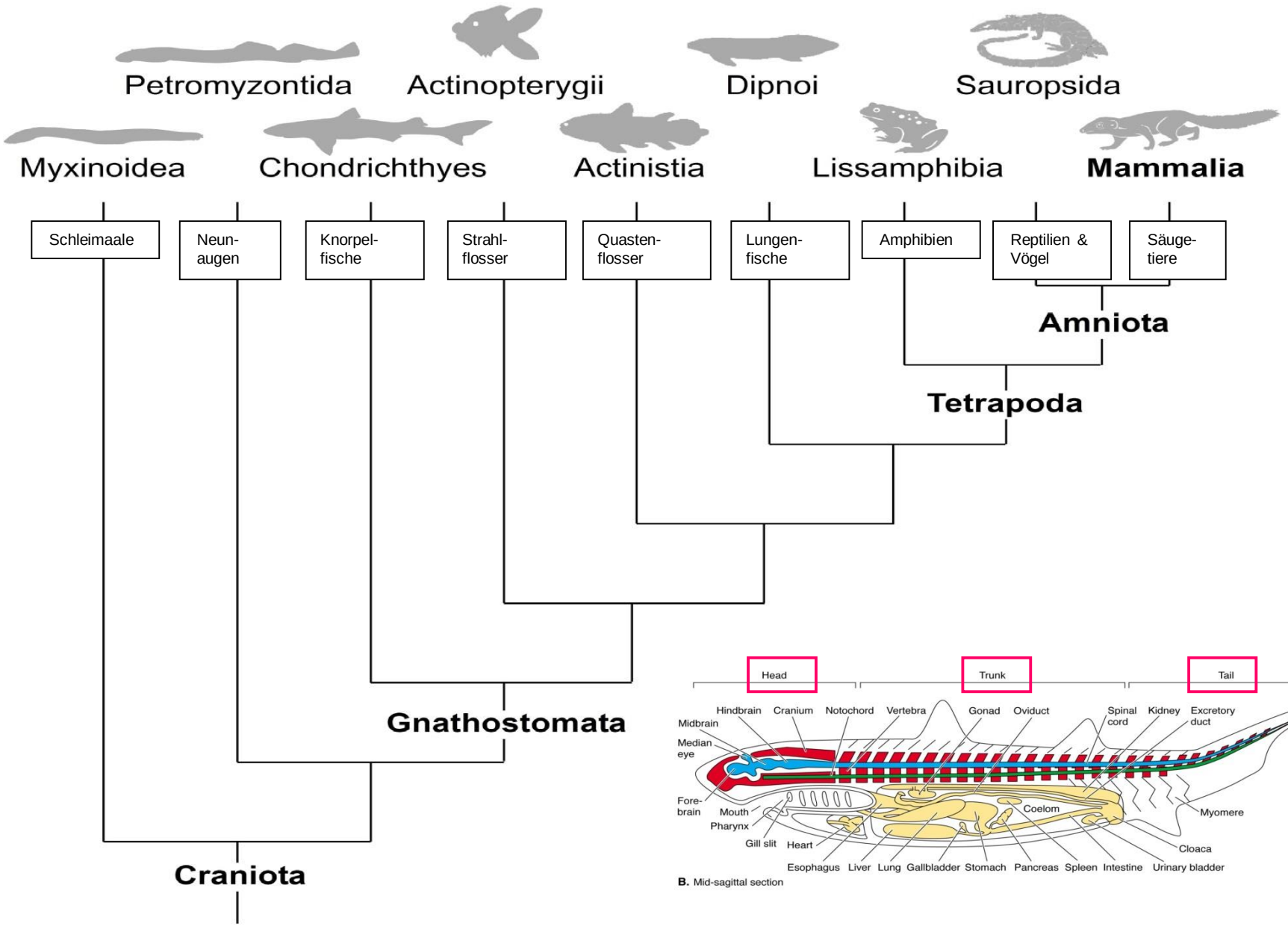
Cephalochordata

- **Zusammenfassung**
  - Rezente Vertreter: *Branchiostoma*, ca. 20 Arten
  - erstes Auftreten ähnlicher Formen im Kambrium (530 Mio J.)
  - Mundtrichter mit Cirren, Räderorgan und Velum (an Stomodaeum-Darm-Übergang)
  - Zahlreiche Kiemenbögen (Haupt- und Nebenbögen), Schleimfiltrierer
  - Chorda reicht bis ans Vorderende (Zellen sind mod. Muskelzellen)
  - Muskulatur in Myomeren
  - Muskelzellen „holen sich ihre Innervation ab“
  - Neuralrohr mit Gehirnbläschen am Vorderende
  - Larve sehr asymmetrisch (keine Primärlarve, sondern Sekundärlarve)
  - Enterocoelie
  - Blutgefäßsystem ähnelt stark dem der Craniota, jedoch ohne Herz!
  - Leberblindsack mit Pfortadersystem

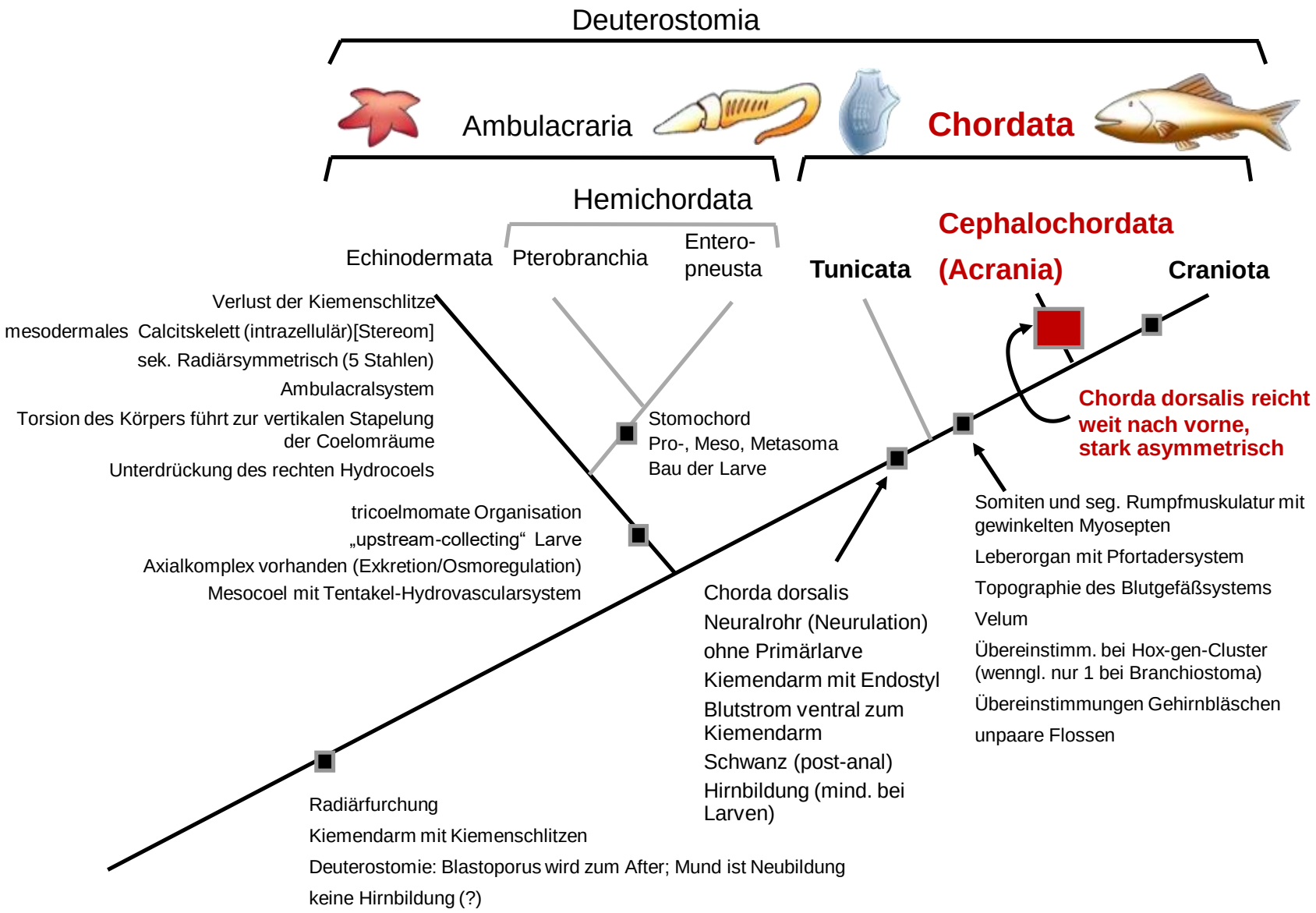
System der Deuterostomia („Neumünder")



Craniota – Oder auch: Vertebrata = Wirbeltiere

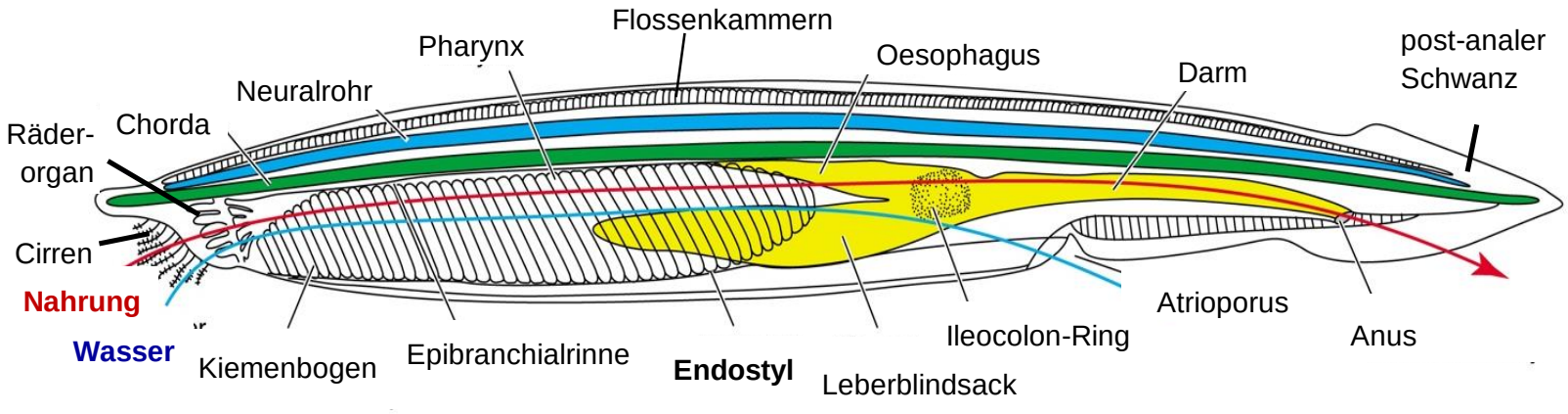


System der Deuterostomia („Neumünder")



Cephalochordata

- ***Branchiostoma lanceolatum***



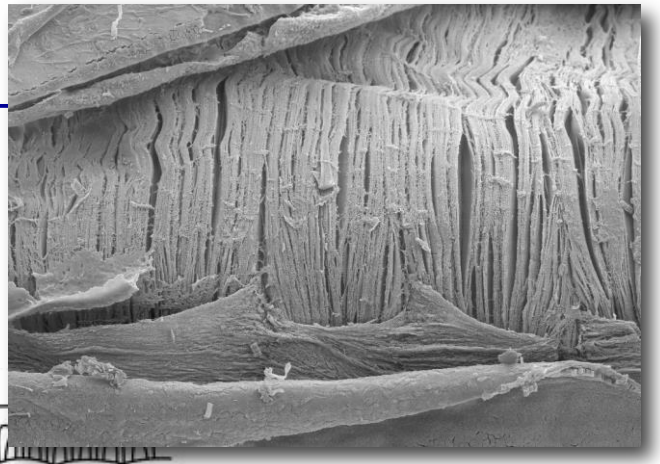
- **Kiemendarm als Filtrierapparat (= Kiemenkorb Tunicata!) – adaptives Merkmal Strudler**
- **Endostyl (Hypobranchialrinne): Schleimproduktion und Nahrungstransport**

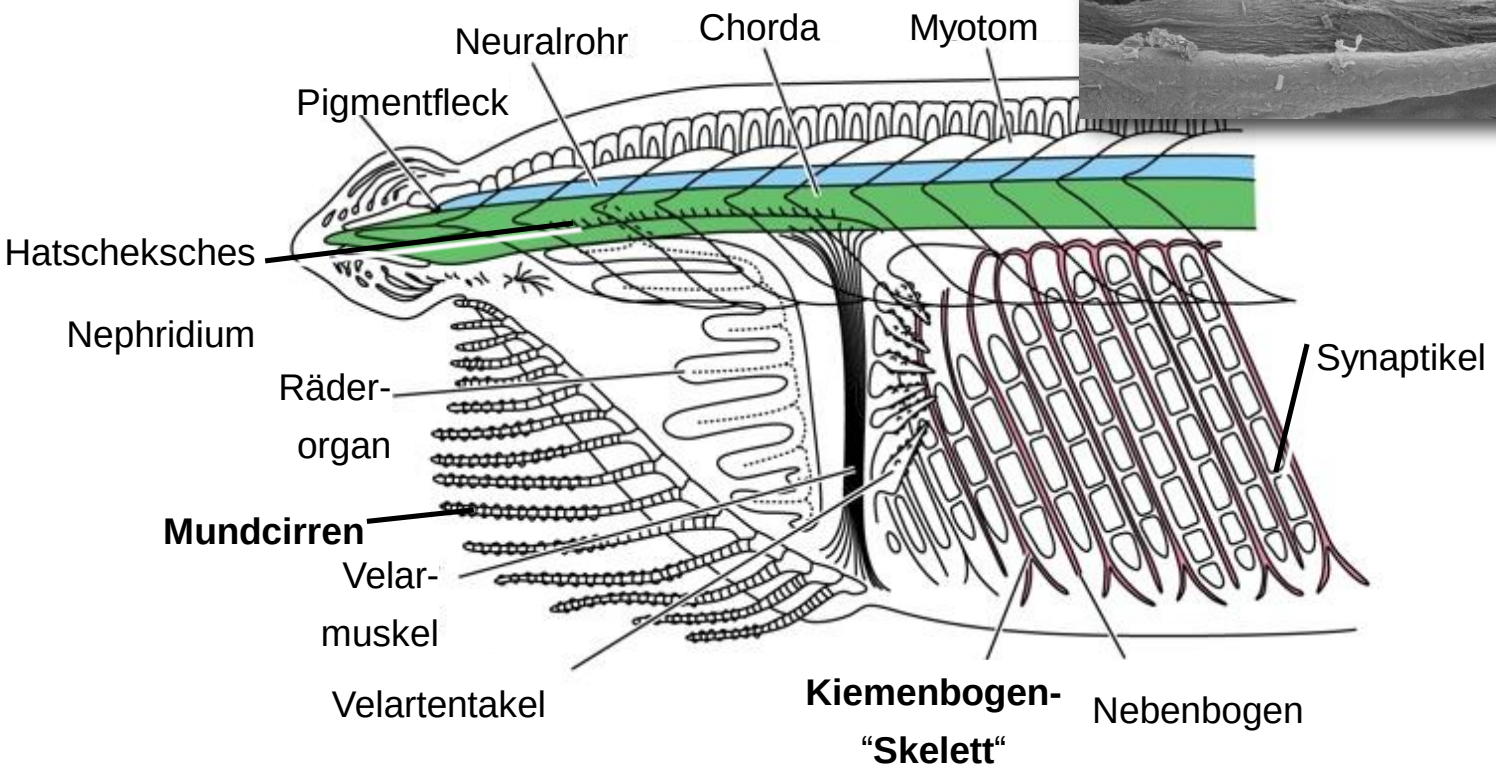
  (= homolog der endokrinen Schilddrüse / Vertebrata)

(modifiziert aus Liem et al. Functional Anatomy of Vertebrates)

Cephalochordata

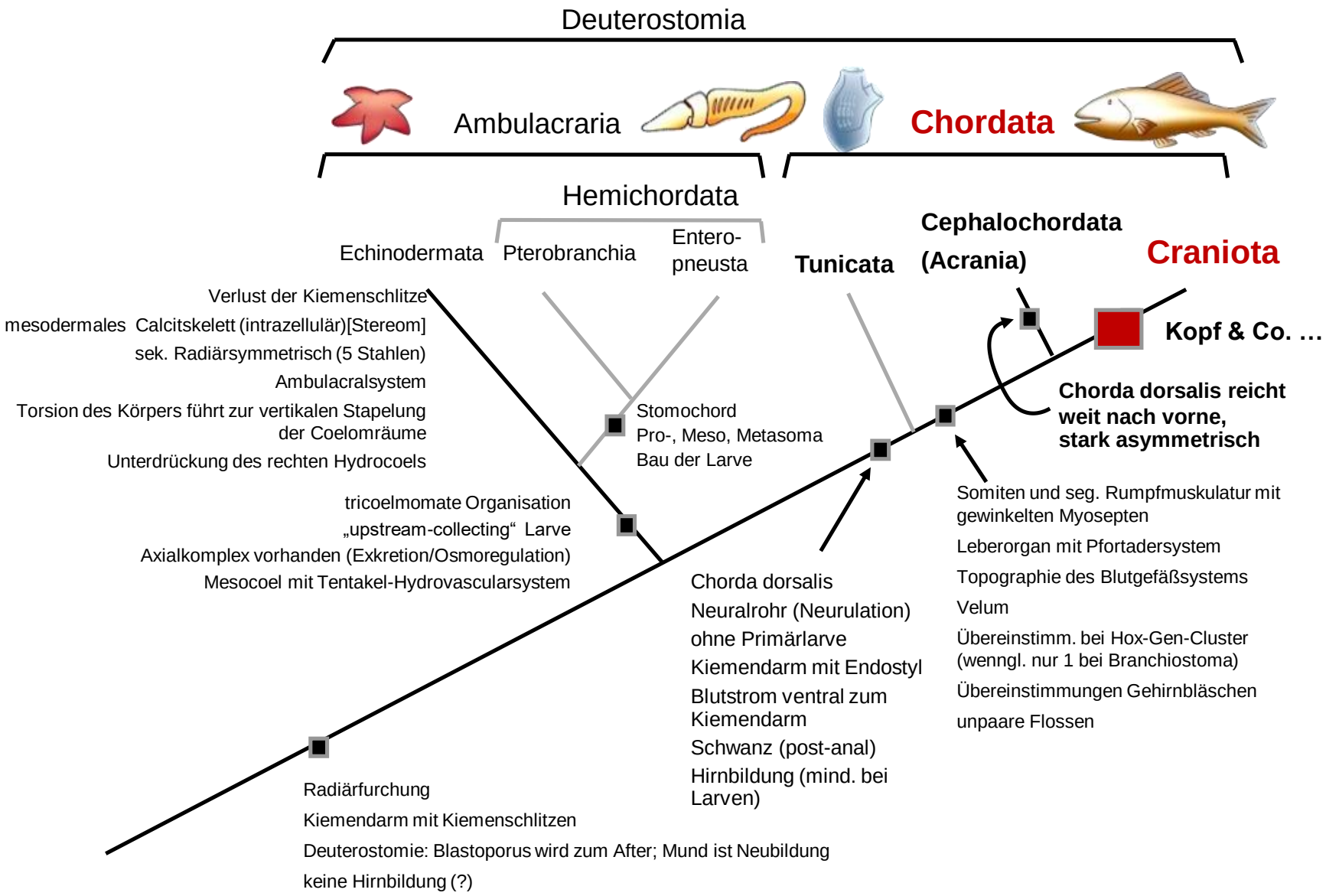
- **Kiemendarm**



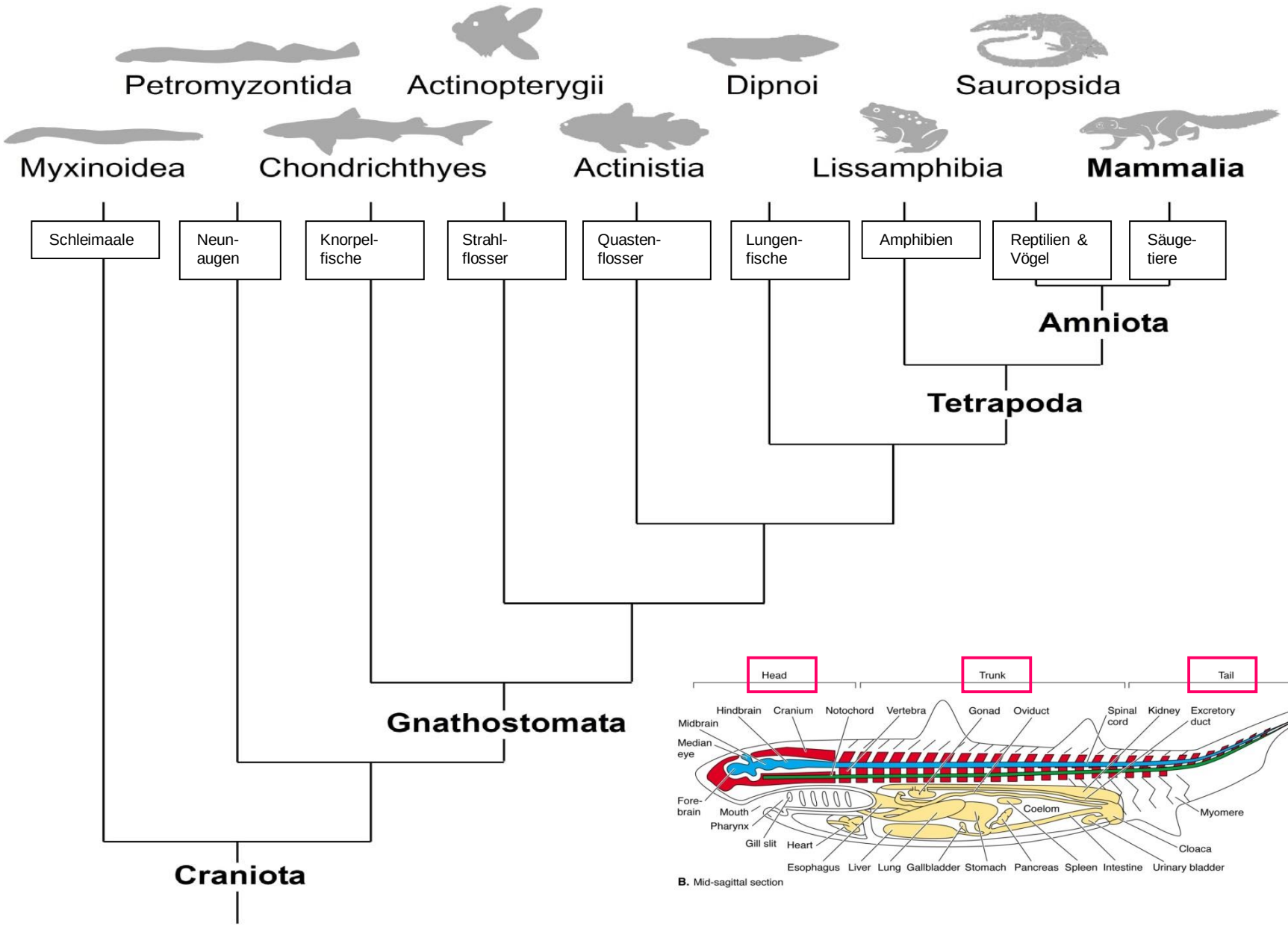


(modifiziert aus Liem et al. Functional Anatomy of Vertebrates)

System der Deuterostomia („Neumünder")

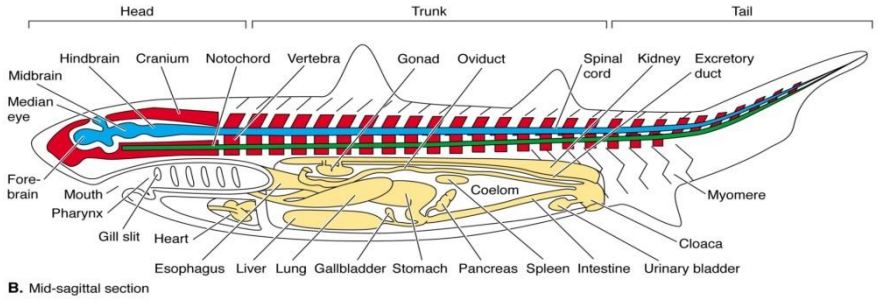


Craniota – Oder auch: Vertebrata = Wirbeltiere



Craniota – Wirbel- oder Schädeltiere

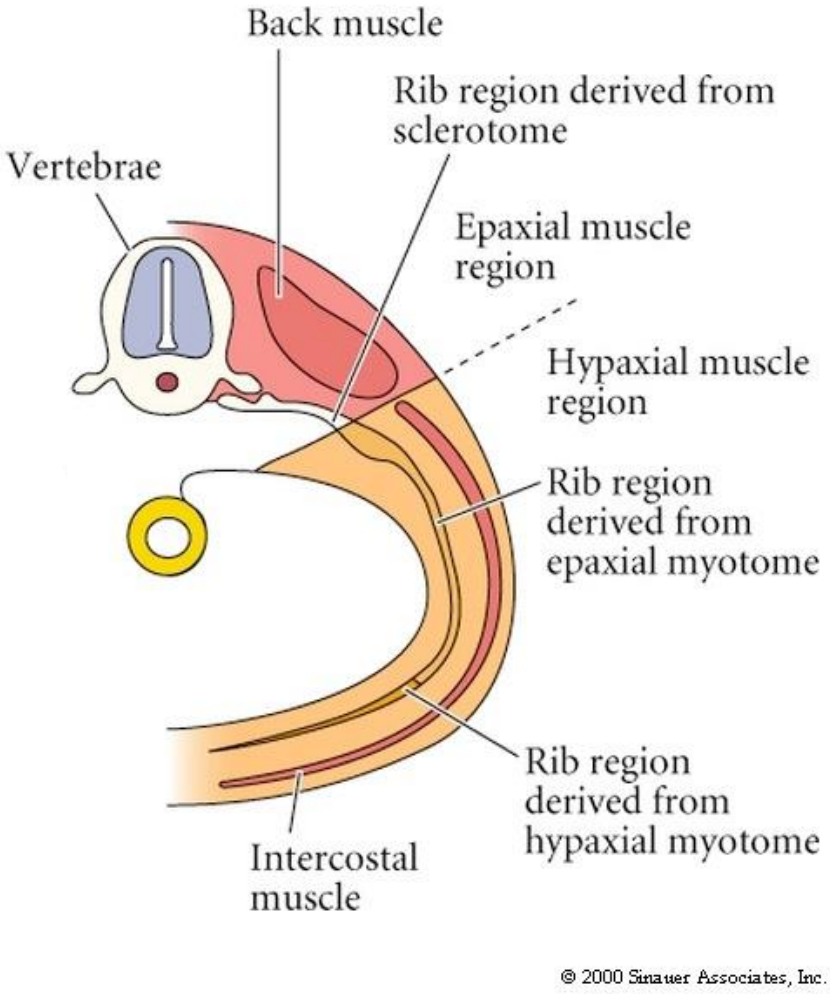
- **Evolutive Innovationen bei Craniota:**
  - **Kopf (Schädel!) / Rumpf / Schwanz; Wirbelsäule**
  - **I. Spezielle Mesoderm-Derivate**
    - hypaxiale Rumpfmuskulatur (ventrale Muskularisierung)
    - unsegmentiertes Kopf-Mesoderm
  - **II. Neuralleiste** (embryonales Gewebe)
  - **III. Neurogene Placoden** (embryonales Gewebe)



Craniota

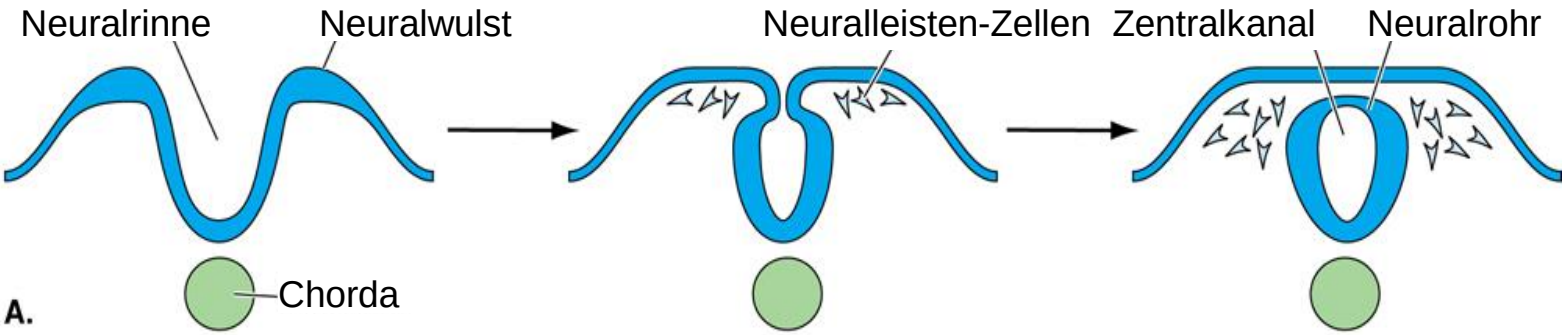
- **Evolutive Innovation I.**

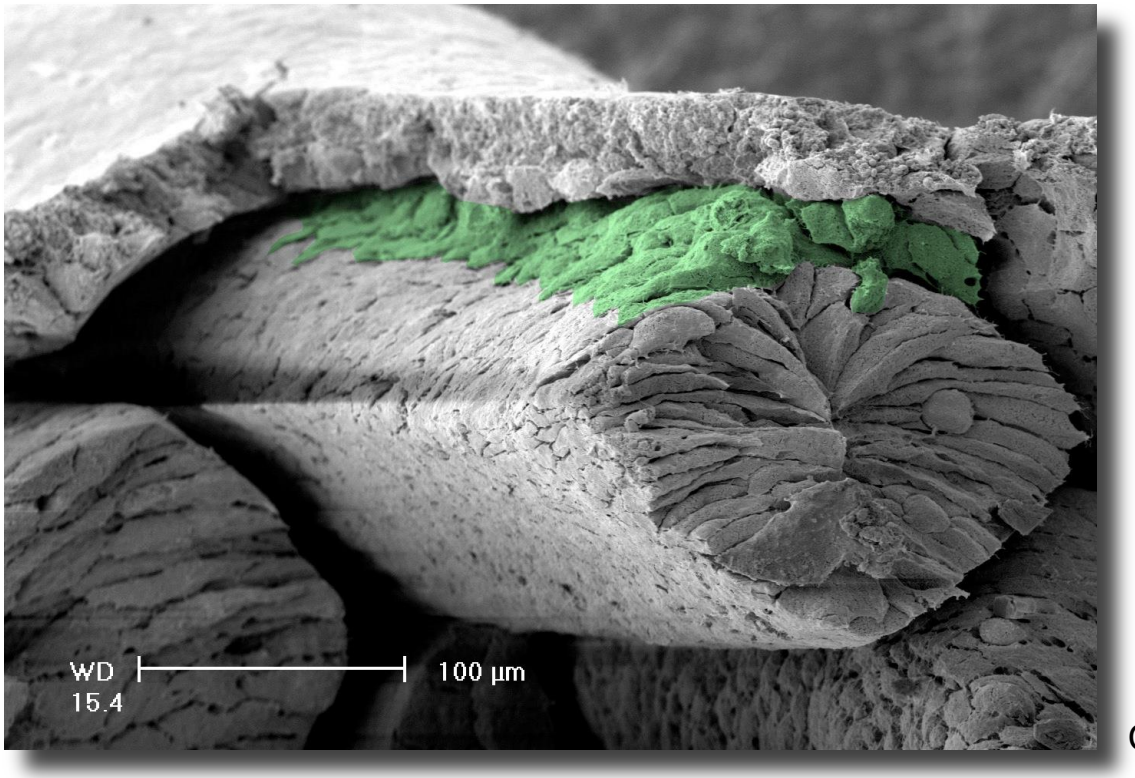
ventrale Muskularisierung



Craniota

- **Evolutive Innovation II.** Neuralleiste, Entwicklung im Querschnittsbild



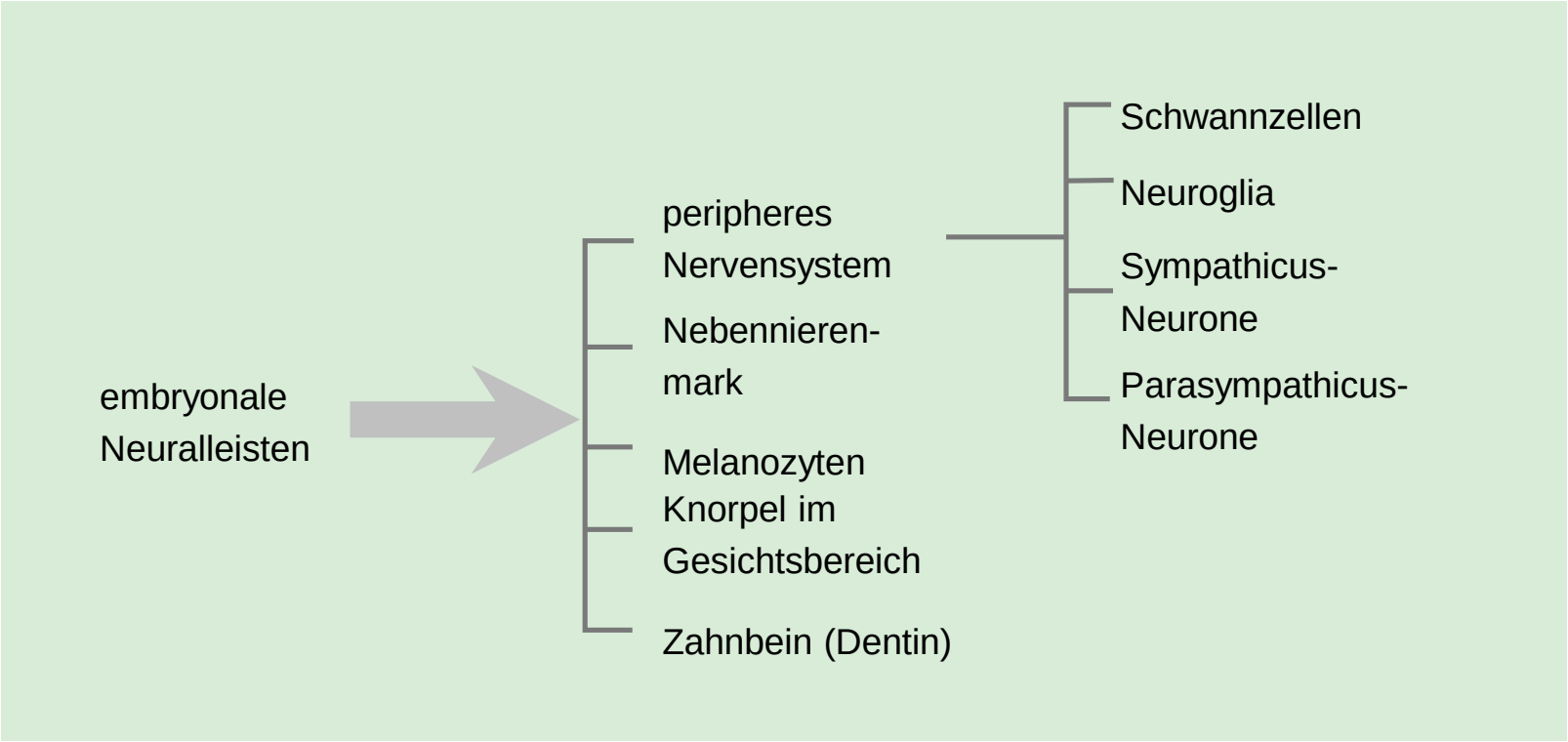


Neuralleiste

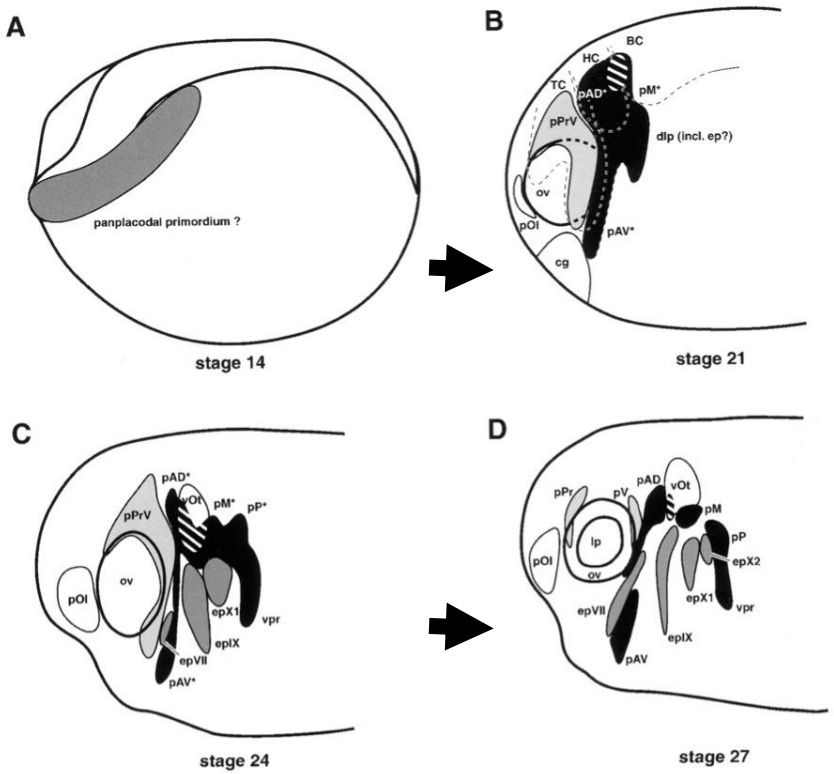
C. Mitgutsch, Jena

- **Evolutive Innovation II.**

Neuralleisten-Derivate



- **Evolutive Innovation III.** Placoden



Kopf eines Amphibienembryos

Original aus Schlosser 2003

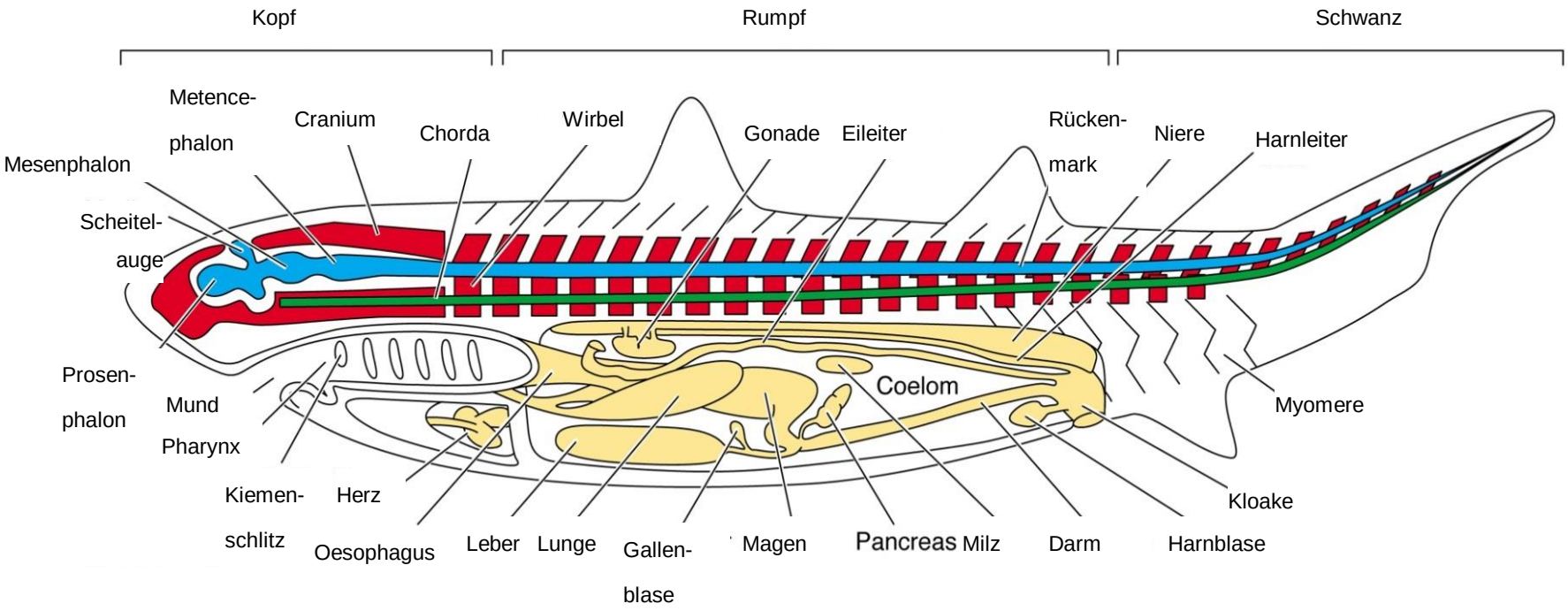
Placoden:

Lokale Verdickungen des embryonalen Ektoderm, die sich im Verlauf der Embryogenese aus dem Ektoderm lösen und in die Tiefe sinken

Derivate der Placoden:
u.a. Riechepithel, Adenohypophyse, Gleichgewichtsorgan (Labyrinth), Neuromastenorgane (Seitenlinien-Organ), Ganglien der Gehirnnerven

Craniota

- **Wirbeltier: Überblick**



(bearbeitet aus Liem et al: Functional Anatomy of the Vertebrates)

Craniota

- **Zusammensetzung Wirbeltierkopf**

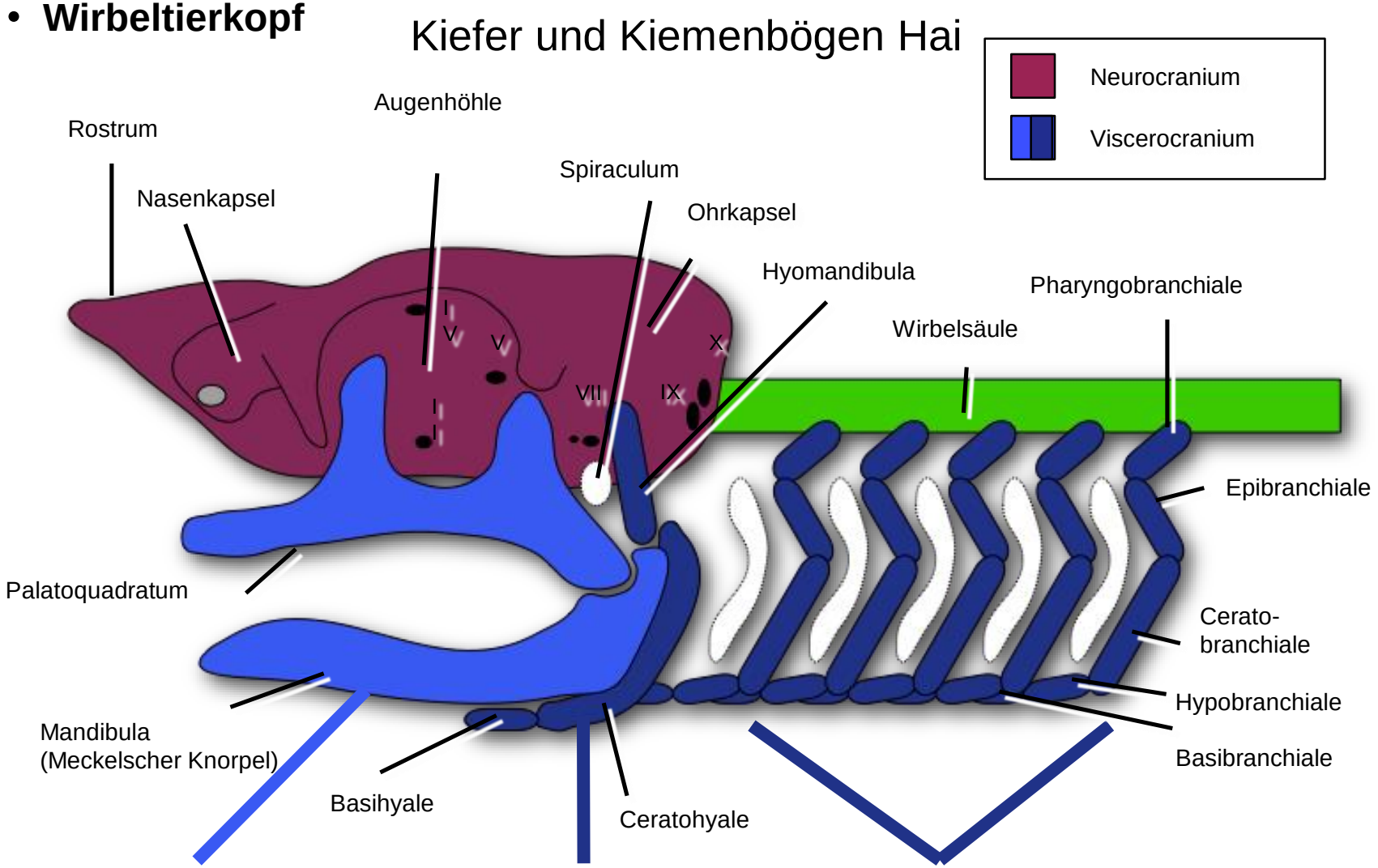
  - **Aufbau aus 3 Hauptkomponenten:**

    - **Dermatocranium**: äußere Knochenhülle; desmale Knochenbildung

    - **Viscerocranium**: 1. Visceralbogen (Palatoquadratum, Mandibulare; nur bei Gnathostomata!); 2. Visceralbogen (Hyalbogen); 3.ff Visceralbögen (Kiemenbögen); endochondrale Knochenbildung

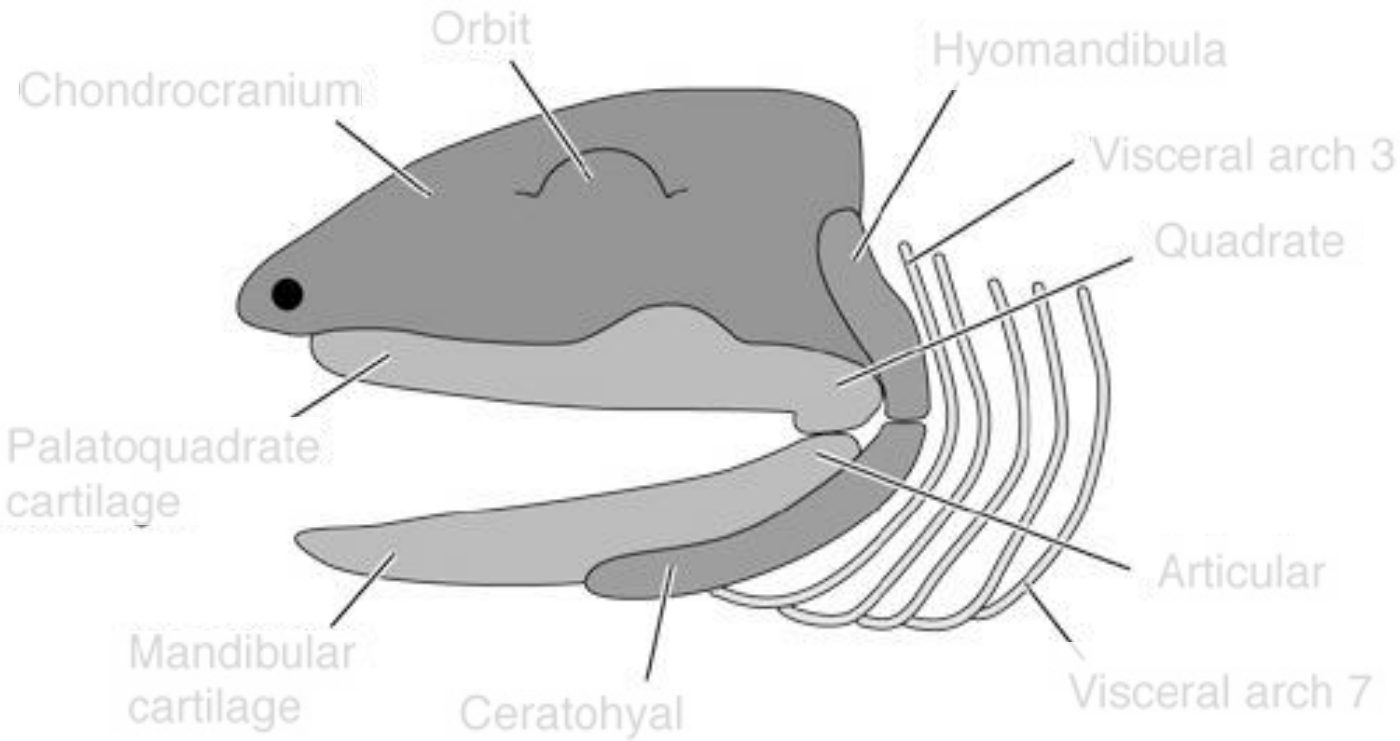
    - **Neurocranium**: Ohrkapsel, Augenkapsel, Nasenkapsel, Gehirnraum; endochondrale Knochenbildung

- **Wirbeltierkopf**



Craniota

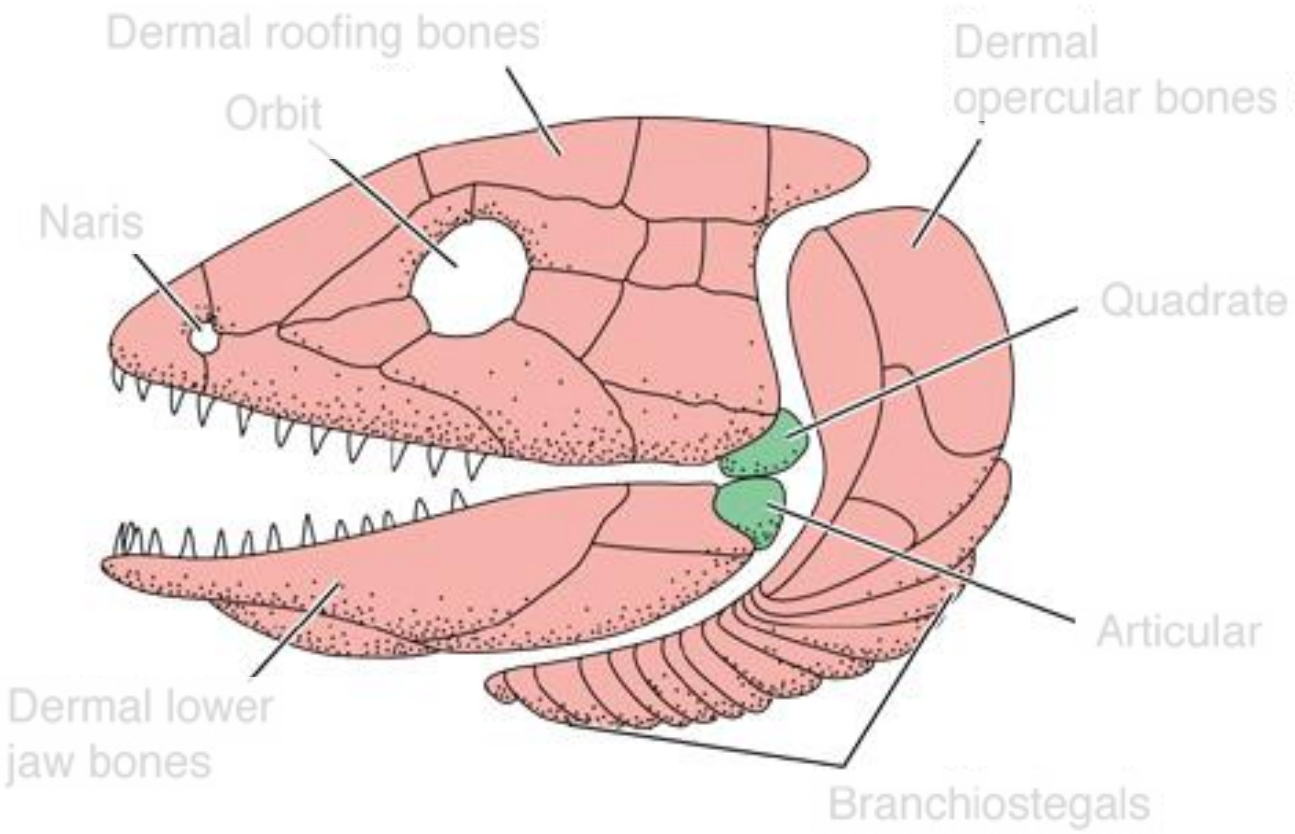
- **Neuro- und Viscerocranium**



(aus Liem et al.: Functional Anatomy of Vertebrates)

Craniota

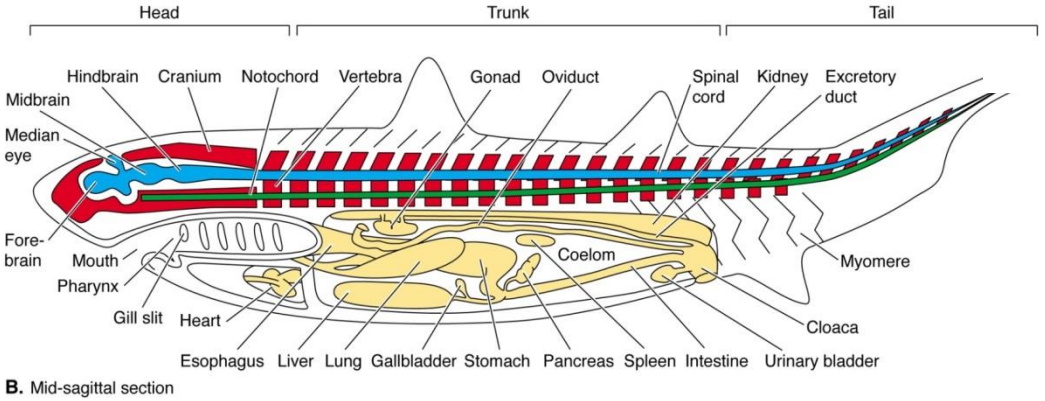
- **Dermatocranium**



(aus Liem et al.: Functional Anatomy of Vertebrates)

Craniota

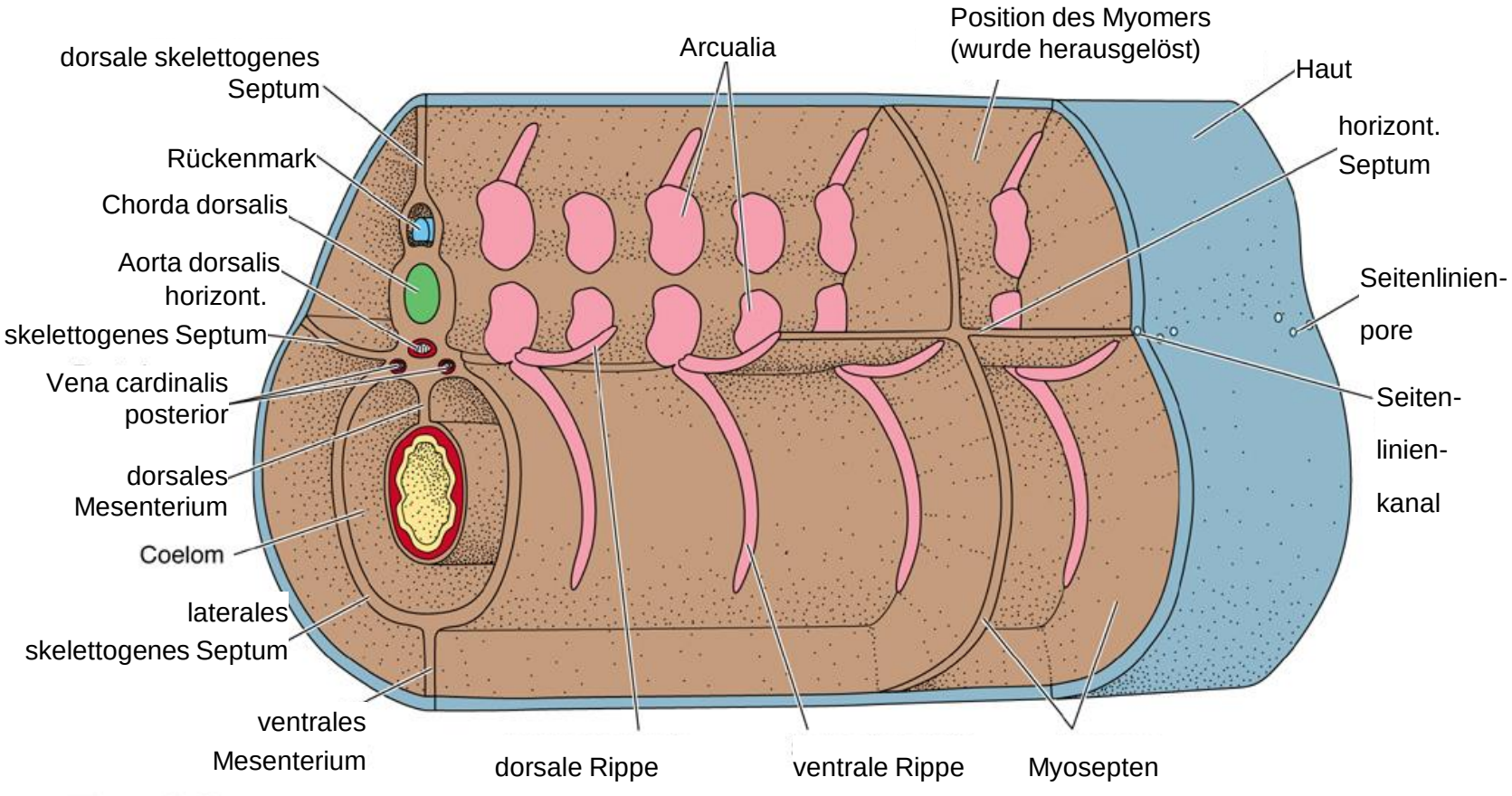
- **Wirbelsäule**



- ersetzt (oft nur teilweise!) die Chorda dorsalis
- ursprünglich homonom gegliedert = gleichförmig sich segmental wiederholende Elemente
- bei ursprünglichen Wirbeltieren aus mehreren Elementen (Arcualia) pro Körpersegement; erst in der weiteren Evolution ein Wirbel pro Segment

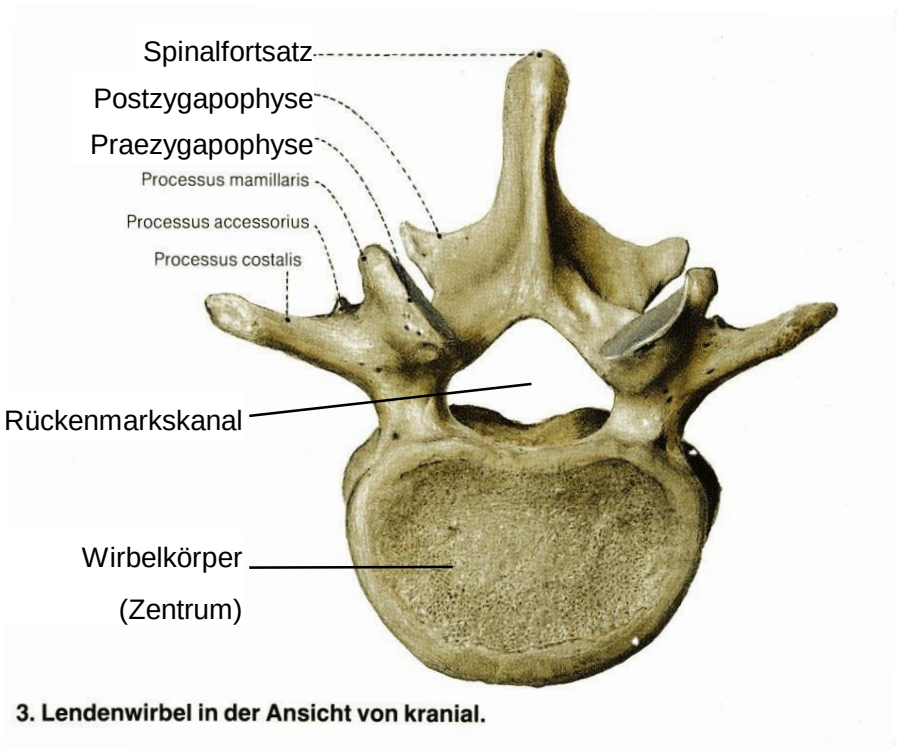
Craniota

- **Rumpf eines Wirbeltieres**



(bearbeitet aus Liem et al: Functional Anatomy of the Vertebrates)

- **Wirbel & Wirbelsäule** Mensch



3. Lendenwirbel in der Ansicht von kranial.

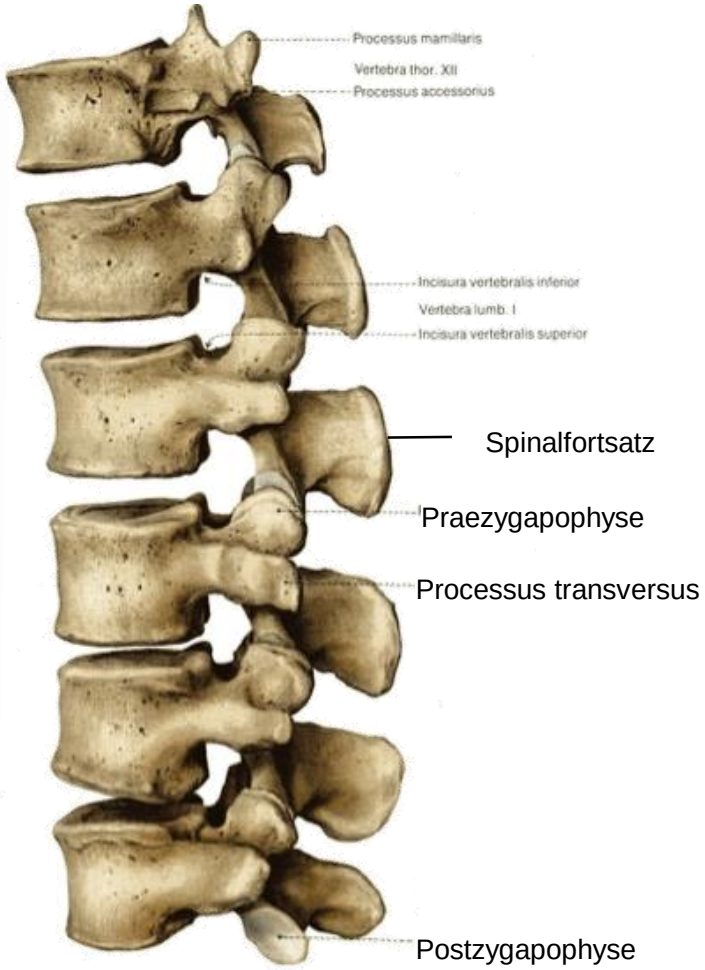
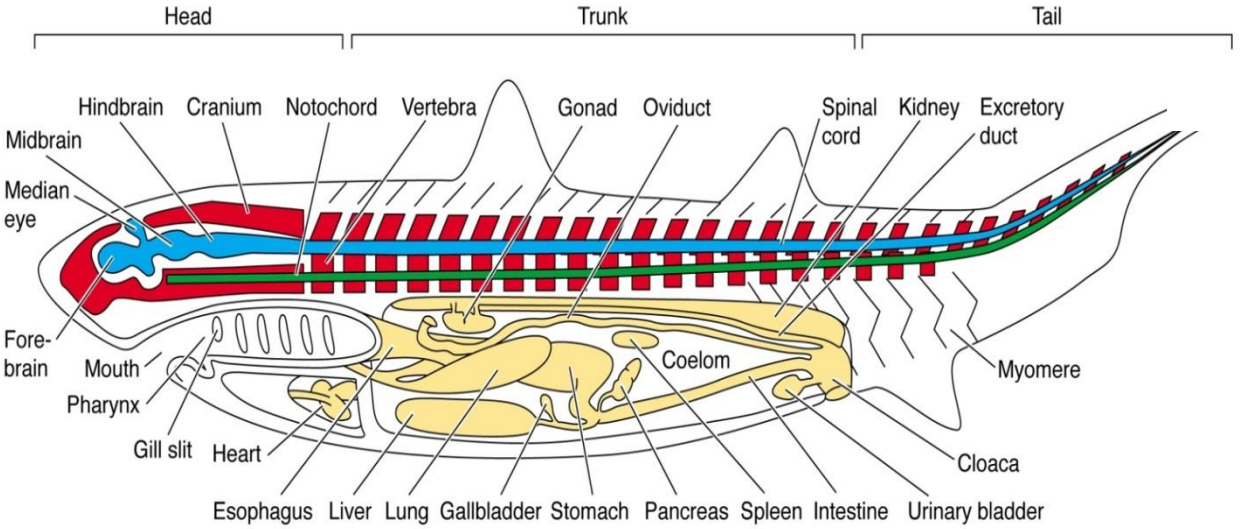


Abb. 5.74 **Lendenwirbelsäule und 12. Brustwirbel in der Ansicht von links seitlich.**

(modifiziert aus Rauber & Kopsch: Anatomie des Menschen, Band1 Bewegungsapparat

Craniota

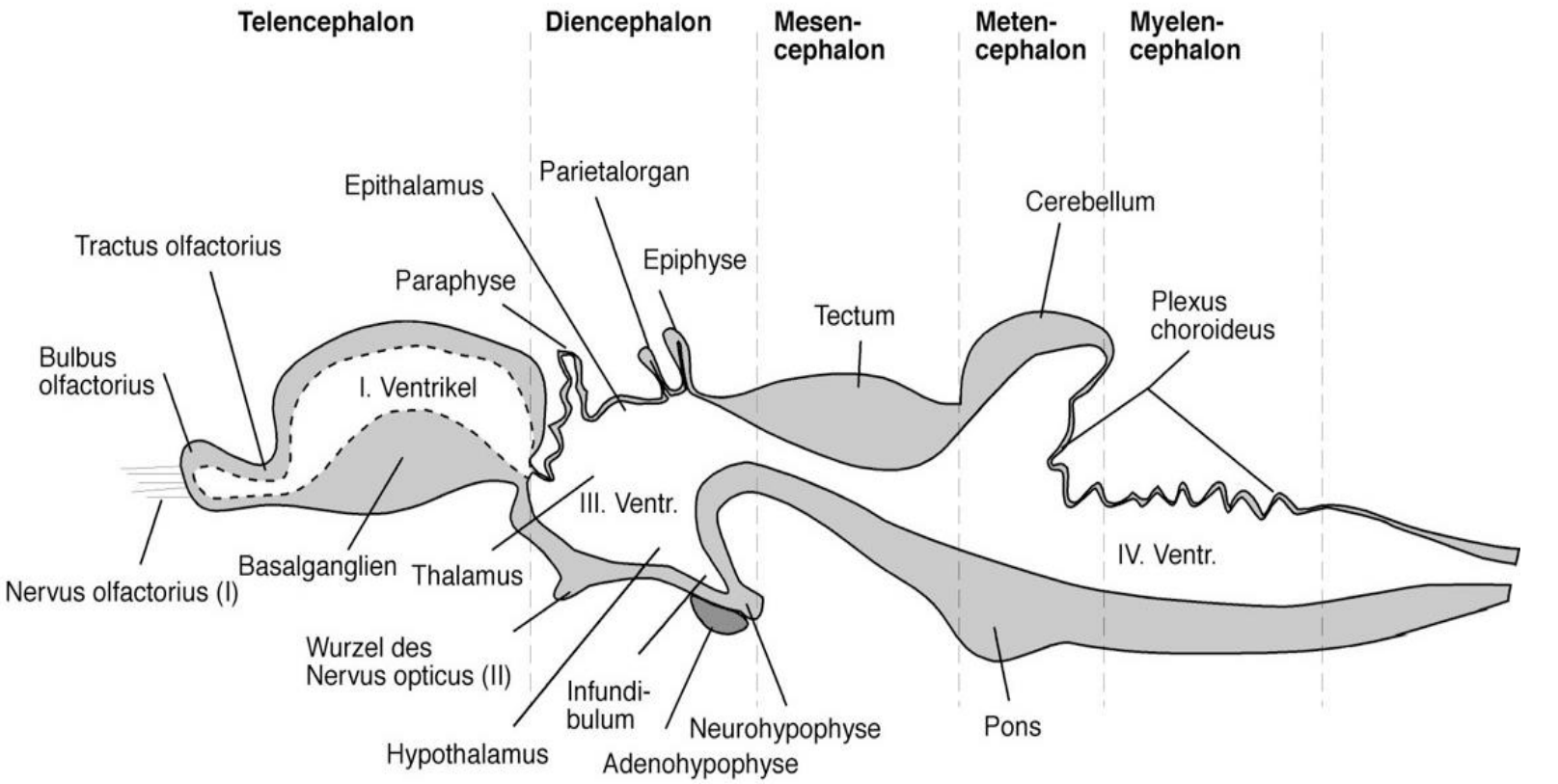
- **Fakten Wirbelsäule**
  - ursprünglich 4 Arcualia pro Segment, plus Neuralbogen, Hämalbogen (nur im Schwanzbereich)
  - erst später holospondyler Wirbel mit einem Wirbelzentrum;
  - Neuralbogen, Hämalbogen, Prä- und Postsygapophysen, Diapo- und Parapophysen (Rippenansätze)



B. Mid-sagittal section

Craniota

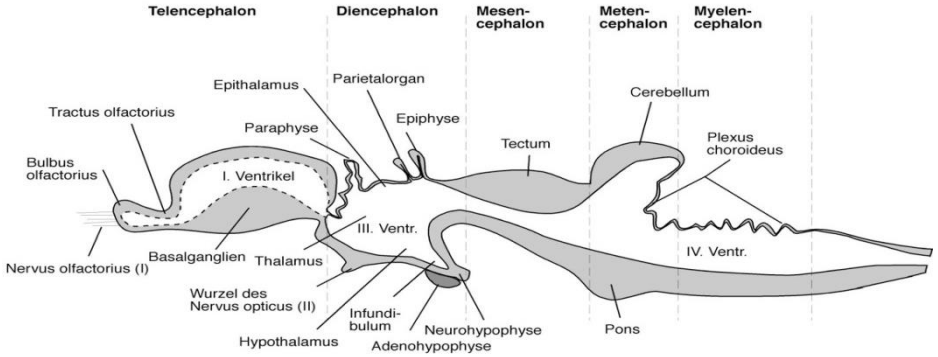
- **Gehirn der Craniota**



Prosencephalon **Mesencephalon** **Deuterencephalon**
Rhombencephalon

Craniota

- **Gehirn**



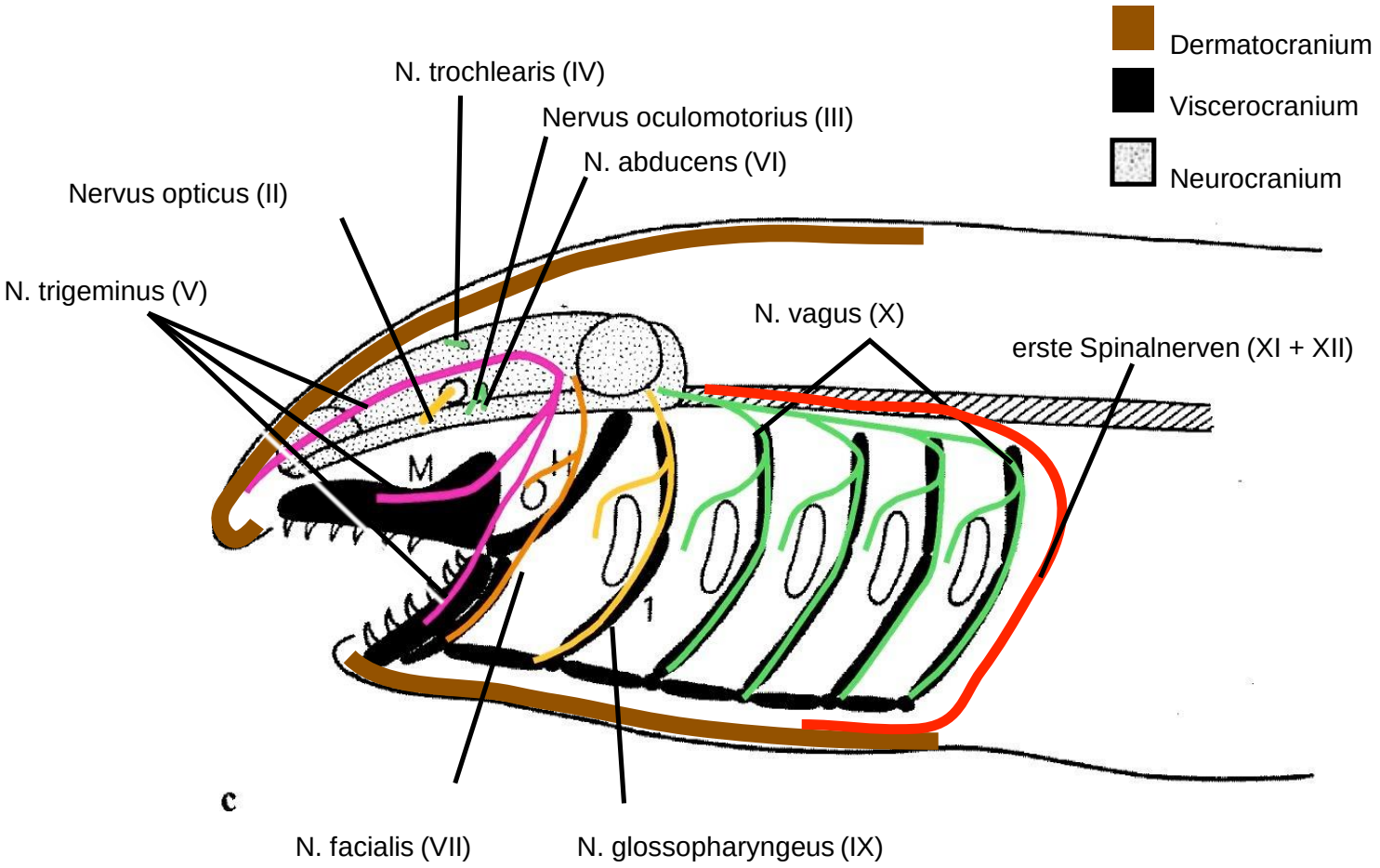
- traditionell werden anatomisch 5 Gehirnteile unterschieden, die zumindest im hinteren Teil des Gehirns nicht scharf abgegrenzt sind:

  Telencephalon (u.a. Riechen, assoziative Zentren)
  Diencephalon (u.a. Augen, Hypothalamus)
  Mesencephalon (u.a. Tectum)
  Metencephalon (Cerebellum, Pons, V, VII)
  Myelencephalon (u.a. motorische Zentren XI, X)

- Die Hirnhäute Piamater, Arachnoidea und Dura mater umgeben das ZNS

- Liquor cerebrospinalis (sezerniert von Plexus choroidei) füllt den Zentralkanal des Rückenmarks, die Hirnventrikel und die Räume der Arachnoidea

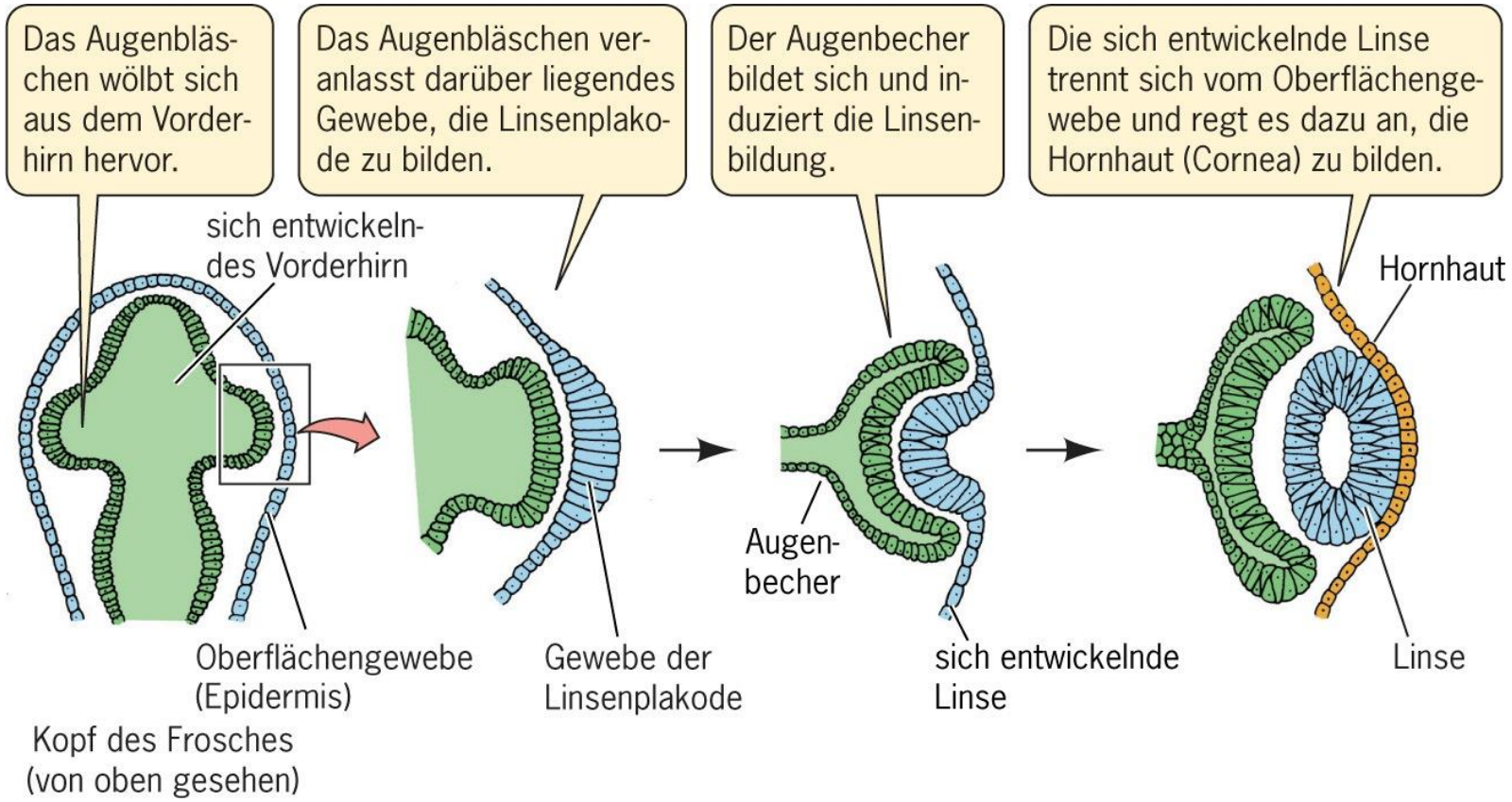
Hirnnerven


Dermatocranium
Viscerocranium
Neurocranium
N. trochlearis (IV)
Nervus oculomotorius (III)
N. abducens (VI)
Nervus opticus (II)
N. trigeminus (V)
N. vagus (X)
erste Spinalnerven (XI + XII)
N. facialis (VII)
N. glossopharyngeus (IX)
c

Craniota

- **Apomorphie:** Lateralaugen

Die Retina ist eine Ausstülpung des Diencephalon und somit ein nach außen verlagerter Hirnteil


Das Augenbläschen wölbt sich aus dem Vorderhirn hervor.
Das Augenbläschen veranlasst darüber liegendes Gewebe, die Linsenplakode zu bilden.
Der Augenbecher bildet sich und induziert die Linsenbildung.
Die sich entwickelnde Linse trennt sich vom Oberflächengewebe und regt es dazu an, die Hornhaut (Cornea) zu bilden.
sich entwickelndes Vorderhirn
Hornhaut
Augenbecher
Oberflächengewebe (Epidermis)
Gewebe der Linsenplakode
sich entwickelnde Linse
Linse
Kopf des Frosches (von oben gesehen)

Aus Purves/Sadava/Orians/Heller, *Biologie*, 7. Aufl., © 2006 Elsevier GmbH

Craniota – Wirbel- oder Schädeltiere

- **Apomorphe Merkmale der Craniota:**
  - Kopf;
  - Neuralleiste und Derivate;
  - Placoden und Derivate;
  - Gehirn aus Prosencephalon und Deuterencephalon; Spinalnerven; Spinalganglien;
  - Lateralaugen als Ausstülpungen des Diencephalon;
  - Nase, Ohr in Skelettkapseln (Neurocranium);
  - Visceralskelett; Somiten differenzieren in Dermatom, Myotom, Sklerotom;
  - Endoskelett aus Knorpel und Knochen; Parachordalknorpel und Trabecula cranii;
  - Integument aus Epidermis (ektodermal, mehrschichtig) und Dermis (mesodermal);
  - Labyrinthorgan; Seitenliniensystem;
  - gekammertes Herz; Erythrozyten mit Haemoglobin;
  - Niere, Leber und Pankreas; geschlossene Schilddrüse (Thyroidea);
  - Coelom entsteht aus Spalt innerhalb der unsegmentierten Seitenplatten;
  - Hirnanhangsdrüse (Hormonproduktion) besteht aus Adeno- und Neurohypophyse (Ocytocin, Vasotocin);
  - W-förmige Myoseptenfaltung; Myomere durch horizontale Fachsepten (Lamellae) in Pakete unterteilt; Septum transversum; ...

Craniota – Wirbel- oder Schädeltiere

- **„Agnatha“ & Gnathostomata**